

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(СПбГУ)

Институт наук о Земле

Кафедра гидрологии суши

Укис Андрей Айварович

Анализ влияния изменения лесистости водосборов на речной сток

Выпускная бакалаврская работа
по направлению 05.03.04 «Гидрометеорология»

Научный руководитель:

Доцент, к. г. н. Г. В. Пряхина

Рецензент:

М. В. Смирнова

« » 2020

Санкт-Петербург

2020

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	2
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	4
2. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	15
2.1. Подбор объектов исследования	15
2.2. Ландшафтное описание района исследования	16
2.3. Рельеф	17
2.4. Климат	19
2.5. Почвы	20
2.6. Гидрология	21
3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	23
3.1 Исследование изменений в лесном покрове водосборов	23
3.2 Анализ гидрометеорологических данных	24
4. СОСТОЯНИЕ ЛЕСНОГО ПОКРОВА ИССЛЕДУЕМЫХ ВОДОСБОРОВ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЖАРОВ	26
4.1 Лесистость водосборных бассейнов	26
4.2 Пожары на исследуемых водосборах	30
5. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ	34
5.1 Анализ расходов воды исследуемых рек и рек-аналогов	34
5.2 Анализ коэффициентов стока исследуемых рек и рек-аналогов	40
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	42
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	45

ВВЕДЕНИЕ

Среди большого числа факторов формирования стока особенно выделяется влияние лесного покрова. В отличие от большинства других факторов, лесной покров буквально находится «на поверхности» - его характеристики можно оценивать дистанционно, используя современные спутниковые снимки, существует огромное количество работ, посвященных гидрологической роли леса, мониторинг за состоянием лесного покрова производится с регулярной частотой многочисленными научными организациями. И тем не менее, не смотря на кажущуюся легкость в исследовании свойств и характеристик лесов на водосборных бассейнах, ученые так и не пришли к единому выводу о гидрологической роли леса.

Известно, что лесной покров влияет на перераспределение осадков и испарения, а, следовательно, неминуемо влияет и на речной сток. Проблема заключается в том, что данные связи непостоянны во времени и в пространстве, а также тесно зависят и от других факторов, не связанных напрямую с лесом.

Отсюда вытекает наличие большого числа противоречащих друг другу теорий о влиянии лесного покрова на сток. Как часть этой большой проблемы исследователи изучают гидрологическое влияние обезлесения – процесса вызванного, преимущественно, пожарами и вырубками.

Актуальность данной проблемы для нашей страны очевидна – новости о катастрофических пожарах регулярно появляются каждое лето, а лесная промышленность является одной из самых приоритетных отраслей во многих регионах как европейской, так и азиатской частей страны. Любая рубка, как и любой лесной пожар, так или иначе расположены на речном водосборе, а значит оказывают влияние на местные стокоформирующие процессы. Изучение этих влияний является одним из приоритетных направлений в современной отечественной гидрологии, в котором работают не только отдельные ученые-исследователи, но и целые организации, такие как – Валдайский Филиал ГГИ [26], красноярский Институт леса им. В. Н. Сукачева [2, 3, 17, 18] и др.

Целью данного исследования было проследить влияние процессов обезлесения на речной сток на примере Прибайкалья - региона, регулярно страдающего от пожаров, который вместе с тем характеризуется хорошим покрытием гидрологических постов.

Среди задач данной работы были: всесторонний анализ литературы, посвященной гидрологической роли леса; выбор исследуемых водосборов, пострадавших от обезлесения и обработка гидрологических, метеорологических, спутниковых и прочих данных,

описывающих особенности выбранных водосборов; прослеживание изменений, связанных с обезлесением путем сравнения гидрологических данных исследуемой реки с данными реки-аналога, не пострадавшей от пожара.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

На сегодняшний день существует несколько концепций, прослеживающих гидрологическую роль леса, противоречащих друг другу. За каждой теорией стоят десятки исследований [6, 13, 31, 35, 37] и десятки признанных ученых, однако выделить какую-то одну из них как универсальную не получается до сих пор.

Одна из старейших теорий утверждает, что наличие леса приводит к выпадению дополнительного количества осадков над водосбором. Лесной покров характеризуется большей шероховатостью, чем обезлесенные территории, что приводит к увеличению числа осадков [26]. Соответственно, вырубка лесного покрова, или же пожар должны привести к уменьшению стока с водосбора.

На этой гипотезе основываются немало исследований, в частности, работы А. В. Побединского и Б. И. Бобруйко, которые проанализировали сток пяти рек Среднего Урала до начала интенсивных рубок в их бассейнах и после их проведения [20]. Они пришли к выводу, что во второй период суммарный сток имел тенденцию к уменьшению. Подобные выводы получил и М. Э. Муратов, занимавшийся реками на Южном Урале. По его данным, при изменении лесистости за 15-летний период с 81 до 70 % слой стока уменьшился с 336—484 до 269—433 мм [16]. Эти исследования, хоть и отражали уменьшение стока, однако, не доказывали, что уменьшение осадков связано именно с вырубкой леса. Данный факт обуславливает непопулярность данной гипотезы в научном сообществе.

Так, один из наиболее значительных отечественных исследователей вопроса связи обезлесения и стока А. А. Онучин подвергает вышеуказанную теорию сомнениям: «До настоящего времени не получено прямых доказательств того, что динамическая шероховатость лесного покрова способствует дополнительному выпадению осадков» [17]. Похожего мнения придерживается и Н. А. Воронков: «Не делается никаких попыток оценить результаты тех наблюдений, которые свидетельствуют об обратном» [6].

В 2018 году, однако, была опубликована работа Федорова С. Ф. и Марунича С. В. «Гидрологическая роль леса», в ней приводились исследования Валдайского Филиала ГГИ, которые подтверждали факт выпадения большего количества осадков над лесными территориями, по сравнению с безлесными [26]. «Большие значения динамической шероховатости [леса] обуславливают и более интенсивный турбулентный обмен теплом и влагой между подстилающей поверхностью и атмосферой, что приводит к усилению внутримассовых осадков, образующихся над поверхностью суши» [26].

В результате исследований В. Н. Малинина удалось выяснить, что на территории Европейской части России в зоне хвойных лесов выпадает в среднем на 6-7% больше осадков, а в зоне лиственных – на 7-9 % больше, чем на безлесных водосборах. Эти данные во многом согласуются с данными, полученными на экспериментальных водосборах Валдайского филиала ГГИ, где разница в осадках между лесным водосбором и безлесным могла составлять порядка 15 - 20 %. Причем эта разница зависит в большей мере от твердых осадков, нежели чем от жидких [26].

Таким образом, ввиду выпадения большего количества осадков над лесным покровом, и не смотря на большее испарение с лесных территорий, нежели чем с безлесных, сток с экспериментальных лесных водосборов ВФ ГГИ выше примерно на 10%, чем сток с экспериментальных полевых бассейнов [26].

Авторы, однако, отмечают интересную особенность, что данная тенденция в последние годы начала нивелироваться в виду изменения климата. Было отмечено, что ввиду увеличения зимних температур и увеличения числа жидких атмосферных осадков, суммы осадков над лесными и безлесными водосборами стали выравниваться в значениях. На территории Европейской части России происходит изменение характера атмосферной циркуляции – преобладание в течение года осадков, связанных с циклонической циркуляцией. Количество же внутримассовых осадков, которые в большей мере зависели от шероховатости подстилающей поверхности, стало стремительно сокращаться [26].

Интересно, что в Западной Европе, где большая часть осадков всегда была связана с циклоническим типом циркуляции, исследователи не обнаруживали заметного влияния леса на величины выпадающих осадков. Возможно этим явлением и можно объяснить популярность на Западе второй концепции взаимоотношения леса и стока.

Эта теория гласит, что соотношение между расходной и приходной частью водного баланса территории меняется в другую сторону – сток после вырубки леса не падает, а наоборот – растет. Связывается это с тем фактом, что испарение с лесной территории гораздо больше, чем с обезлесенной – явлением хорошо изученным и доказанным [6, 13]. Так, например, По данным ВФ ГГИ для Северо-Запада ЕТР, испарение на участке елового леса в среднем на 8 % больше, чем на безлесном участке. За периоды исследования с 1955 по 1999 гг. это значение колебалось от 2 до 12% [26].

Наиболее интересным исследованием, согласующимся с данной теорией является эксперимент американской Гидрологической Лаборатории на р. Ковита в США. [37].

Дважды на водосборе реки Ковита (площадью 16 гектар) в качестве эксперимента был вырублен лес – в 1939 и в 1962 году.

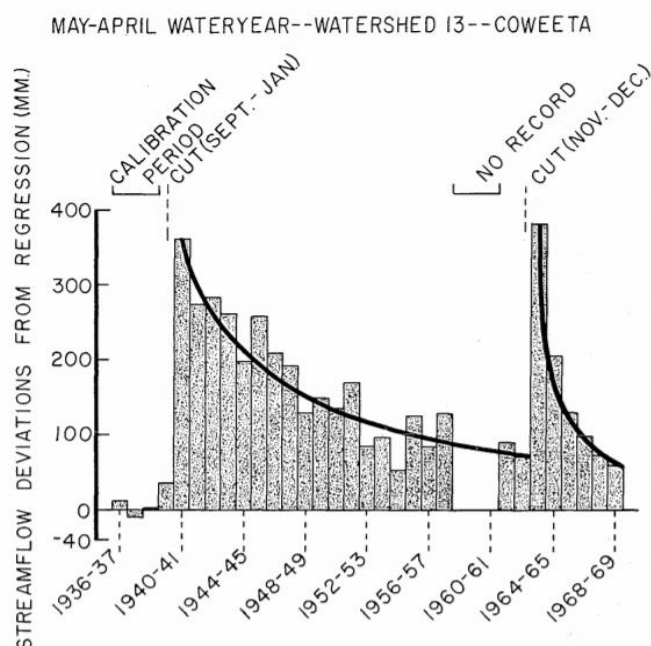


Рисунок 1.1 Возрастание стока р. Ковита после вырубок по сравнению со стоком до эксперимента (W. T. Swank, J. D. Helvey, 1970 [37])

На представленном графике (рис. 1.1) отображено резкое увеличение стока в первый же год после вырубки на 360 мм. Анализируя кривую, соответствующую последующим падениям расходов, авторы предположили, что значения стока вернулись бы в изначальные границы лишь к 1975 году. Однако, в 1962 году лес на водосборе был снова вырублен, и сток снова поднялся уже на 380 мм по сравнению со доэкспериментальными значениями [37].

В этот раз, однако, учеными была зафиксирована гораздо более резкая кривая падения расходов – это было объяснено тем, что на смену коренному ореховому лесу, после первой рубки 1939 года, пришли другие породы, испаряющие большее количество влаги и их вырубка в 1962 г. привела к более интенсивному сокращению испарения [37].

Тем не менее, не смотря на, казалось бы, наглядные результаты эксперимента, ученые задают справедливый вопрос: «Был бы достигнут тот же самый результат при таких же вырубках не в экспериментальных условиях, а в естественной среде?» ("Would streamflow response be of the same magnitude if the same treatment could be repeated on the [real] watershed?") [37].

Существует ряд и отечественных исследований, прослеживающих ту же зависимость стока от обезлесения, например, работы красноярского Института леса им. В. Н. Сукачева. В 2017 году Т. А. Буренина публикует данные о динамике среднегодовых значений стока на реках Западного и Восточного Саянов (р. Мана, р. Кебежа и р. Шадат) [3]. На этих реках среднегодовой сток увеличивается при возрастании площади вырубок, что также объясняется снижением испарения с водосбора.

Однако изменения в испарении после вырубок и лесных пожаров, не такие однозначные как может показаться на первый взгляд. Если испарение в теплый период действительно сокращается после обезлесения, то испарение зимнего периода может наоборот увеличиваться. Особенно характерно это для суровых условий бореального климата.

Например, авторы вышеупомянутого красноярского Института леса отмечают падение среднегодового стока на реках Карабула, Мура и Иркенева, относящихся к бассейну Ангары, на 0,5-1,3 мм в год [18]. Объяснение этому дается достаточно интересное – авторы утверждают, что на открытых, после вырубок, территориях значительно увеличивается скорость ветра. В зимний период это приводит к «метелевому переносу» - явлению, в ходе которого, снег поднимается с ветром и покидает пределы водосбора. Увеличение скорости ветра зимой также приводит к более активному зимнему испарению – значения которого могут сильно сказаться на количестве влагозапасов к началу весеннего периода.

Интересно, однако, что период падения стока на этих притоках Ангары через несколько лет сменился ростом расходов – на месте вырубок появляются новые лесные сообщества, которые снова начинают перехватывать влагу и препятствовать интенсивному зимнему испарению [18]. К тому же, после вырубок, на месте коренного хвойного леса, появились мелколиственные сообщества – иными словами произошла сукцессия. А мелколиственные деревья испаряют меньшее количество влаги, чем хвойные сообщества – так, в своем исследовании Н. А. Воронков констатирует, что суммарное испарение с хвойного леса превышает суммарное испарение с мелколиственного на величину от 20 мм до более ста миллиметров [6]. Причем это превышение достигается не за счет транспирации (она, как раз, может быть выше у мелколиственных сообществ), а за счет испарения из-под полога лесного покрова и испарения задержанной влаги кронами хвойных деревьев [6].

Согласно исследованиям Валдайского Филиала ГГИ, хвойный еловый лес задерживает более чем в два раза больше осадков, нежели лиственный (43% и 18%

суммарного количества осадков соответственно). Сосновый лес задерживает несколько меньше елового – около 22% [26].

В продолжение разговора об испарении, стоит упомянуть что вклад его различных составляющих на лесном водосборе (транспирация, испарение из-под полога лесного покрова и испарение задержанных кронами осадков) непостоянен в течение года. Согласно исследованиям Валдайского Филиала ГГИ [26], распределение составляющих суммарного испарения в хвойном лесу в зимний период следующее: испарение из-под полога леса – 18%, транспирация – 5%, а испарение снега, задержанного кронами деревьев – 77 %. В теплый период ситуация кардинально меняется – больше всего суммарное испарение зависит от транспирации – 43%, несколько меньше испарение под пологом леса – 31%, испарение же с кроны деревьев составляет 26%. В целом, в году соотношение получается довольно равнозначным: транспирация – 38 %, испарение с крон деревьев – 33 % и испарение из-под полога лесного покрова – 33% [26].

Такая сложная связь испарения с различными характеристиками лесного покрова, постоянно меняющаяся во времени, очевидно должна обосновывать и не менее сложную связь обезлесения и речного стока – когда сток не просто растет или падает после потери лесных территорий, а следует более сложной функции. Согласно О. И. Крестовскому, по данным исследований на территории подзоны южной и средней тайги европейской части России, наблюдается следующий ход среднегодовых значений стока: на свежих вырубках сток увеличивается в несколько раз по сравнению со стоком с более залесенного водосбора, затем, через 15-20 лет показатели примерно выравниваются, а «... далее он резко снижается и достигает своего минимума (69-70% нормы) к 40-60 годам для хвойных и 30-50 годам для смешанных лесов», что вызвано активным испарением влаги появившимся лесом-молодняком [13]. По данным наблюдений, О. И. Крестовский отмечает, что и затем сток продолжает расти и делает вывод, что зависимость между расходами воды и наличием вырубок леса является сложной и изменчивой функцией (см. рис. 1.2).

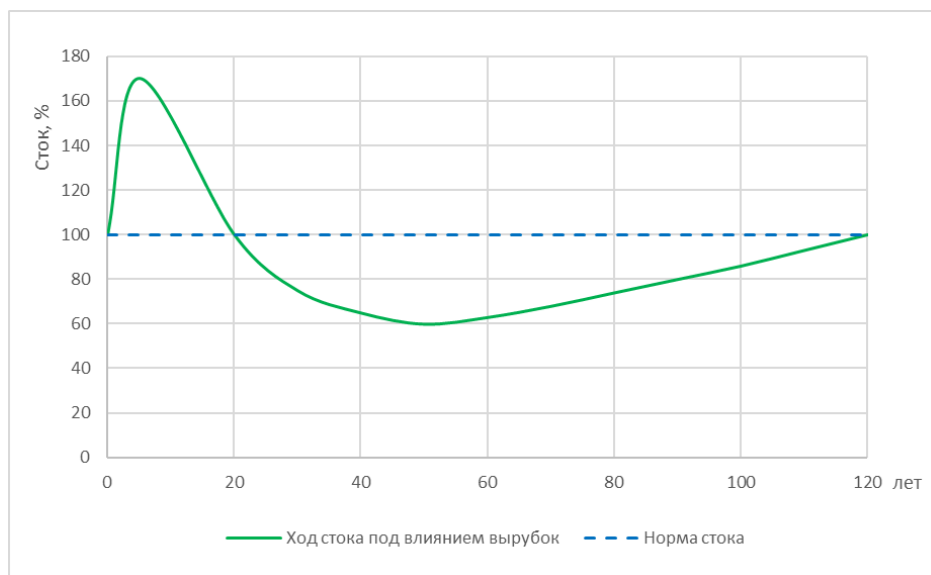


Рисунок 1.2 Ход стока после вырубки по О. И. Крестовскому

Из всего вышесказанного становится очевидно, что многообразие полученных результатов и их противоречие друг с другом говорят о наличии чрезвычайно сложных связей всех компонентов водного баланса и факторов, на них влияющих, когда речь идет о взаимодействии обезлесения и речного стока. Следовательно, у данного взаимодействия огромную роль играет характер расположения водосбора в тех или иных географических условиях.

Лучшей иллюстрацией этого факта служит работа J. J. McDonnell и J. Evaristo [31], в которой на основе моделирования чуть более 400 000 водосборных бассейнов составлена карта интенсивности влияния обезлесения/зарастания на речной сток по всему миру (рис. 1.3).

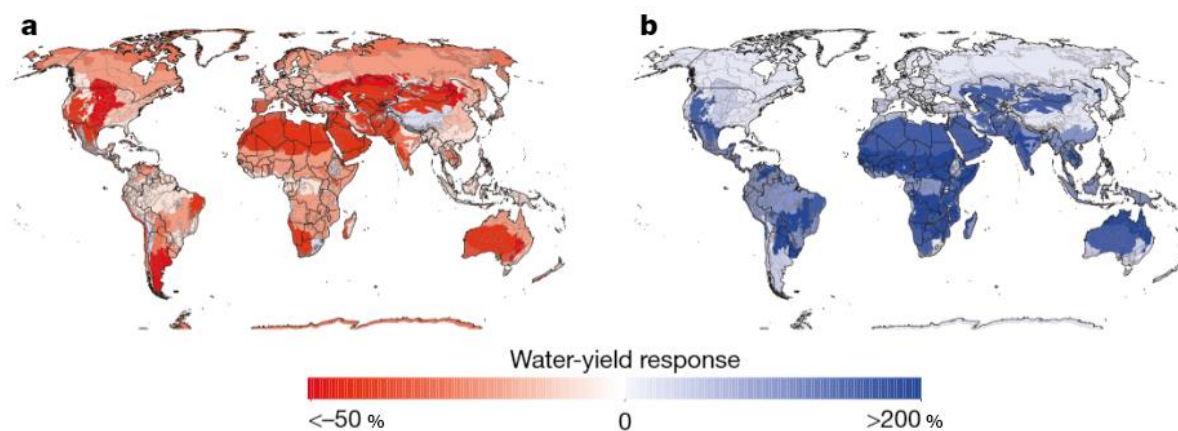


Рисунок 1.3 Карта интенсивности влияния залесения (a) и обезлесения (b) на речной сток в процентах от нормальных значений (J. Evaristo, J. J. McDonnell, 2019 [31])

Из анализа представленной карты следует, что, например, вырубка лесов в субэкваториальных и тропических широтах ведет к гораздо большему возрастанию стока, чем вырубка лесов, например, в северном бореальном поясе, где реакция стока будет не такой яркой.

Авторы связывают данное явление с факторами влагоемкости и испарения с территории водосбора. Стоит отметить, что работ, посвященных данной тематике, которые бы описывали связь происходящих процессов с влагоемкостью почвы крайне мало. Тем временем, авторы утверждают, что количество влаги, способное удерживаться почвенным слоем играет важнейшую роль во взаимоотношении стока и обезлесения. Так, чем выше влагоемкость (например, в пористых, мощных отложениях почвы), тем интенсивнее будет возрастать сток после вырубок. В свою очередь, на водосборах где влагоемкость почвогрунтов не велика (ввиду недостаточной пористости и/или малой толщины слоя), рост стока после потери леса будет совсем скромным, если будет наблюдаться вообще [31].

На реакцию стока на залесение водосбора оказывает большее влияние уже не влагоемкость, а испарение с территории, по мнению авторов. Результаты их моделирования показали, что наибольшее падение речного стока после залесения отмечено в областях с чрезвычайно низким испарением – например, в тропических пустынях. В областях с более высоким испарением (экваториальный пояс, умеренные широты) падение стока после зарастания водосборов гораздо более умеренное.

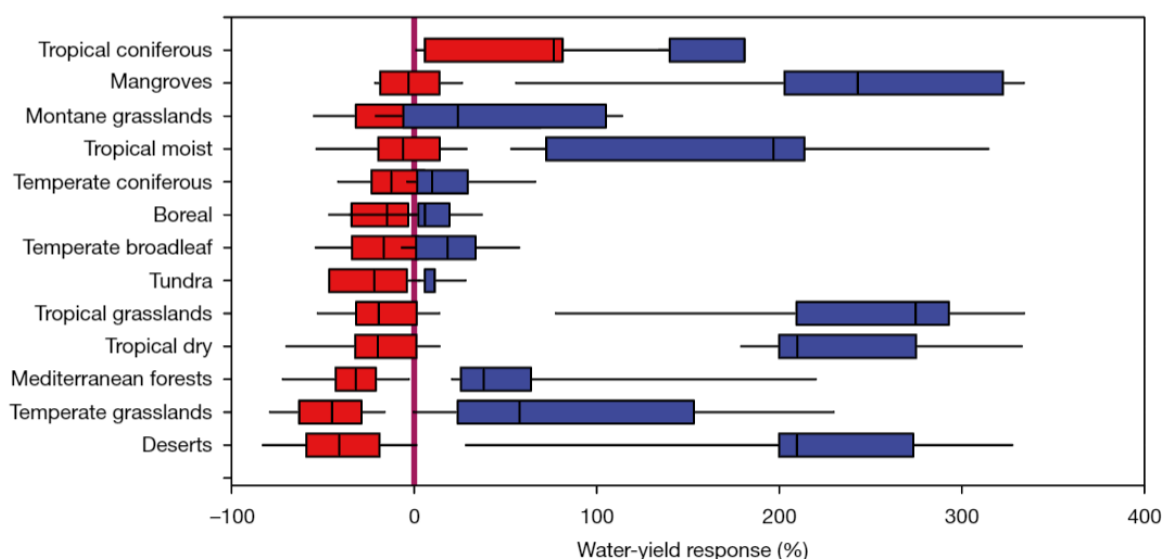


Рисунок 1.4 Влияние обезлесения (синий цвет) и залесения (красный цвет) водосбора на сток (в процентах от нормы стока) в разных природных зонах (J. Evaristo, J. J. McDonnell, 2019 [31])

До сих пор речь шла об исследованиях, анализировавших данные о среднегодовых значениях стока, однако влияние обезлесения на водосбор можно проследить и во внутригодовой динамике. Причем изменения во внутригодовом стоке прослеживаются несколько более явно - большинство исследований имеют аналогичные, схожие результаты [18, 19, 13]. Так, в работе Онучина А. А. и Бурениной Т. А. при исследовании динамики стока рек бассейна Ангары, было обнаружено увеличение доли весеннего стока после вырубок леса [18].

Объяснить это можно следующим образом – лесные насаждения способствуют увеличению фильтрации и инфильтрации разрыхля почвогрунты развитыми корневыми системами и дренируя влагу. Накопившиеся зимой влагозапасы в лесу расходуются более равномерно в течение теплого периода – часть из них фильтруется в почву и поступает в речную сеть с почвенным стоком с некоторой задержкой от поверхностного стока. Часть влаги инфильтруется в грунтовые воды и попадает в русловую сеть лишь в летний меженный период. На «лесное» сглаживание половодья оказывает влияние и тот факт, что под лесным пологом снег тает значительно медленнее.

Как пожар, так и вырубка леса ведет к отмиранию корневых систем и коренному изменению в водно-физических свойствах почвы – она становится гораздо более влагонепроницаемой ввиду резкого снижения пористости [6] [7] [14], у почвогрунтов увеличивается гидрофобность (т.е. ухудшается смачиваемость почвы) [14]. Происходит уплотнение почвы, лесная подстилка, которая также регулирует фильтрацию, исчезает. Инфильтрация в грунтовые воды и фильтрация в почвенные горизонты значительно снижаются, ввиду чего увеличивается поверхностный сток. Это означает, что с началом теплого периода, весь стаявший снег почти моментально попадет в русловую сеть, увеличивая долю половодья и паводков во внутригодовом распределении стока.

Влияние обезлесения на водно-физические свойства почвы, и, следовательно, на паводки и половодья можно проследить, не только анализируя гидрологические данные, но и проанализировав почвенную колонку речной поймы, как сделали авторы из Белгорода и Липецка, анализируя почвенный горизонт в долине р. Липовка [27]. В статье приводится фотография почвенной колонки, на которой даже неопытным глазом четко отличаются три слоя почвенных отложений – первый авторы датируют как погребенную почву, второй – почву, сформированную до первой половины XIX века, и третий – почвы, сформированные с середины XIX века до наших дней. На основе анализа артефактов человеческого происхождения в почве удалось установить сроки образования слоев – но резко отличаются друг от друга они не поэтому. Дело в том, что именно с середины XIX века началось

активное освоение р. Липовки (центральная часть г. Липецк) с прокладкой дорожных коммуникаций, строительством каменных домов и прочих объектов, что привело к сведению лесного покрова в бассейне реки, а это, в свою очередь, послужило причиной увеличения паводочных и половодных уровней воды [27]. Так, в суглинистой почве образовалось пять мощных песчаных прослоев, отложенных во время особенно крупных паводков, когда трансформирующая способность реки существенно возросла [27]. Данная статья является интересным примером того, как можно оценить связь обезлесения и стока с довольно необычной стороны.

По той же причине ухудшения водно-физических свойств почв, наблюдается падение меженного стока, ведь питание реки в межень напрямую зависит от грунтовых вод. О. И. Крестовский указывает, что меженный сток на вырубках может снижаться на 25-30% по сравнению с изначальными значениями [13].

Стоит отметить, что после обезлесения территории, с течением времени, на вырубках лесов с высокой плотностью древостоя на среднеспособных почвах, водно-физические свойства восстанавливаются, а на месте лесов с низкой плотностью на маломощных почвах продолжают ухудшаться. Выборочные рубки слабой интенсивности в насаждениях на среднеспособных почвах не влияют на водно-физические свойства почв [7].

Возвращаясь к разговору о неопределенной гидрологической роли леса, разные ученые объясняют ее каждый по-своему - J. Evaristo и J. J. McDonnell, как уже было отмечено выше, определяли почвенную влагоемкость и испарение как те факторы, что вносят наибольший «разброс» в полученные данные [31]. А. А. Онучин, прежде всего, связывает наличие неустойчивости с климатическим фактором: «В холодном климате уменьшение лесистости ... приводит к активизации метелей, усиленному испарению снега и снижению суммарного стока», «... в условиях мягких зим, лесным пологом перехватывается большое количество твердых атмосферных осадков, которые в отсутствие метелей хорошо сохраняются» [19]. В работе 2018 года А. А. Онучин высказывает предположение, что гидрологическая роль леса в условиях мягких зим заключается в уменьшении стока – «лес испаряет больше влаги, нежели безлесные пространства» при «высокой вегетационной продуктивности» в условиях мягкого климата [35]. Следовательно, при процессах обезлесения, на территориях с суровым климатом сток будет уменьшаться, а в регионах с мягким климатом – увеличиваться [35]. Данная теория достаточно правдоподобно объясняет принципиально разные результаты в работах отечественных ученых и западных исследователей, изучающих бассейны в разных климатических условиях.

Тем не менее теория А. А. Онучина не «ставит точку» в вопросе влияния обезлесения на сток – в условиях сурового климата, после пожаров или вырубок, весной теоретически может наблюдаться как чрезвычайно высокое половодье, вызванное обильным поверхностным стоком, так и, наоборот, снижение расходов, по сравнению с традиционными, ввиду активизации метелевого переноса.

Большую роль играет и сам характер растительности: в сезоны выпадения большого количества осадков, испарение в темнохвойных лесах существенно превышает испарение на открытых пространствах, а испарения на последних всегда выше, чем испарения с лиственных лесов, состоящих из березовых и осиновых сообществ [6]. Известно, однако, что на месте вырубаемых ценных хвойных пород вырастают мелколиственные сообщества, что серьезно осложняет оценку гидрологической роли леса в данный момент времени. В некоторых своих работах, А. А. Онучин отмечает ту же закономерность, что выявил О. И. Крестовский - после периода падения среднегодовых значений стока (связанных с вырубкой хвойных лесов), они начинают увеличиваться, по мере возрастания мелколиственных лесов, а в какой-то момент, среднегодовой сток становится больше, чем до вырубок [19]. Тип растительности играет роль и в задержке твердых осадков – считается, что хвойные леса (как темнохвойные, так и светлохвойные) задерживают гораздо больше снега, нежели лиственные сообщества [2]. Очевидно, что это важно при учете влаги, поступающей с таянием снега в русловую сеть.

Многие авторы (Молчанов А. А., Воронков Н. А., Онучин А. А.) указывают и на то, что возраст лесных сообществ также играет роль в динамике испарения. Так, леса-молодняки характеризуются гораздо большим испарением, чем зрелые, спелые леса – особенно это касается хвойных сообществ (в меньшей степени – лиственных, ввиду низкой плотности полога у лиственного молодняка) [6]. Обычно, период интенсивного испарения составляет порядка 20-30 первых лет [6]. Проблема с анализом возраста лесного покрова заключается в непрерывном и неравномерном по водосбору росте древесных сообществ – при анализе автором вырубок на р. Луза (зона средней тайги на ЕТР) в ходе курсовой работы прошлого года, выяснилось, что вырубленные хвойные сообщества сменяются мелколиственными за достаточно короткий срок – 2-3 года [25]. Если принять во внимание, что вырубки на водосборе производились равномерно в течение всего исследуемого периода (2000-2016), то получается, что происходила постоянная замена обезлесенных участков мелколиственным лесом – и получается, что оценить данное влияние на сток фактически невозможно.

Помимо возраста и типа лесного сообщества, играют роль и такие параметры, как: сомкнутость лесного покрова, конфигурация лесных насаждений и открытых пространств – их взаимное расположение. Очевидно, что поверхностное стекание, активизируемое на вырубках и гарях, будет играть наибольшую роль в образовании половодий паводков, если обезлесенный участок выходит непосредственно к руслу реки. В случае если гарь/вырубка расположена в глубине водосбора, то ее поверхностный сток может просто «не достичь» реки, встретив на своем пути препятствие в виде сохраненного лесного массива. Это подтверждается разными авторами, сообщающими об особой водоохранной роли прибрежных речных лесов, шириной около 100 м [12].

Таким образом, подход к оценке влияния вырубок на режим реки должен, по возможности, включать в себя оценку не только площади вырубок, но и анализ типа растительности, его возраста, а также исследование метеорологических параметров. Однако, даже комплексный подход к изучению данной проблемы не всегда гарантирует получение однозначного, «правильного» результата – как видно из всех приведенных выше экспериментов и исследований, полученные результаты могут противоречить друг другу, противоречить концепциям и теориям, изложенным в монографиях и учебниках.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Подбор объектов исследования

Первый этап работы заключался в отборе водосборов, существенно пострадавших от обезлесения. Регионом исследования было выбрано Прибайкалье – как местность, периодически страдающая от пожаров и обладающая достаточно развитой сетью гидрологических постов с непрерывными и доступными данными.

Отбор водосборов был осуществлен в ходе анализа карты обезлесения, находящейся в свободном доступе и составленной Мэрилендским Университетом [34]. На карте оцифрованы полигоны лесных потерь в период с 2001 по 2018 гг. В случае с водосборами Прибайкалья, все эти потери связаны исключительно с лесными пожарами – вырубок на водосборах за период с 2001 по 2018 не выявлено.

Анализ карты выявил два крупных пожара, случившихся в Прибайкалье в 2003 и 2015 гг. Более всего от этих пожаров пострадали водосборы р. Анга и р. Иликта на западном побережье оз. Байкал и р. Турка, р. Ина, р. Курба на восточном побережье озера (таб. 2.1).

Анализ влияния изменений лесистости на речной сток производился методом сравнения с рекой-аналогом - для указанных водосборов, пострадавших от пожара, были определены бассейны-аналоги, на которых нарушения в лесном покрове были минимальны.

Для водосборов р. Анги и р. Иликты были подобраны бассейны-аналоги р. Бугульдейка и р. Манзурка соответственно (таб 2.1). Согласно карте обезлесения, пожары 2003 и 2015 гг. существенно не коснулись лесного покрова данных водосборов. Для рек восточного побережья не удалось найти водосборов-аналогов, однако масштабы обезлесения на данных водосборах различны, поэтому гидрологические данные трех рек сравнивались между собой.

Таблица 2.1 Перечень исследуемых рек

Исследуемые реки	Замыкающий гидропост	Бассейн	Площадь бассейна, км ²	Принадлежность поста УГМС	Открытие поста
Анга	с. Еланцы	оз. Байкал	727	Иркутское	10.07.1959
Бугульдейка	д. Большая Бугульдейка	оз. Байкал	1700	Иркутское	01.09.1950
Иликта (Правая Иликта)	с. Большая Тарель	р. Лена	1450	Иркутское	01.02.1956
Манзурка	д. Зуева	р. Лена	3280	Иркутское	24.07.1952
Турка	с. Соболиха	оз. Байкал	5050	Забайкальское	07.10.1961
Ина	с. Ина	р. Баргузин	3270	Забайкальское	24.07.1957
Курба (Бол. Курба)	с. Новая Курба	р. Уда	5500	Забайкальское	21.03.1946

2.2 Ландшафтное описание района исследования

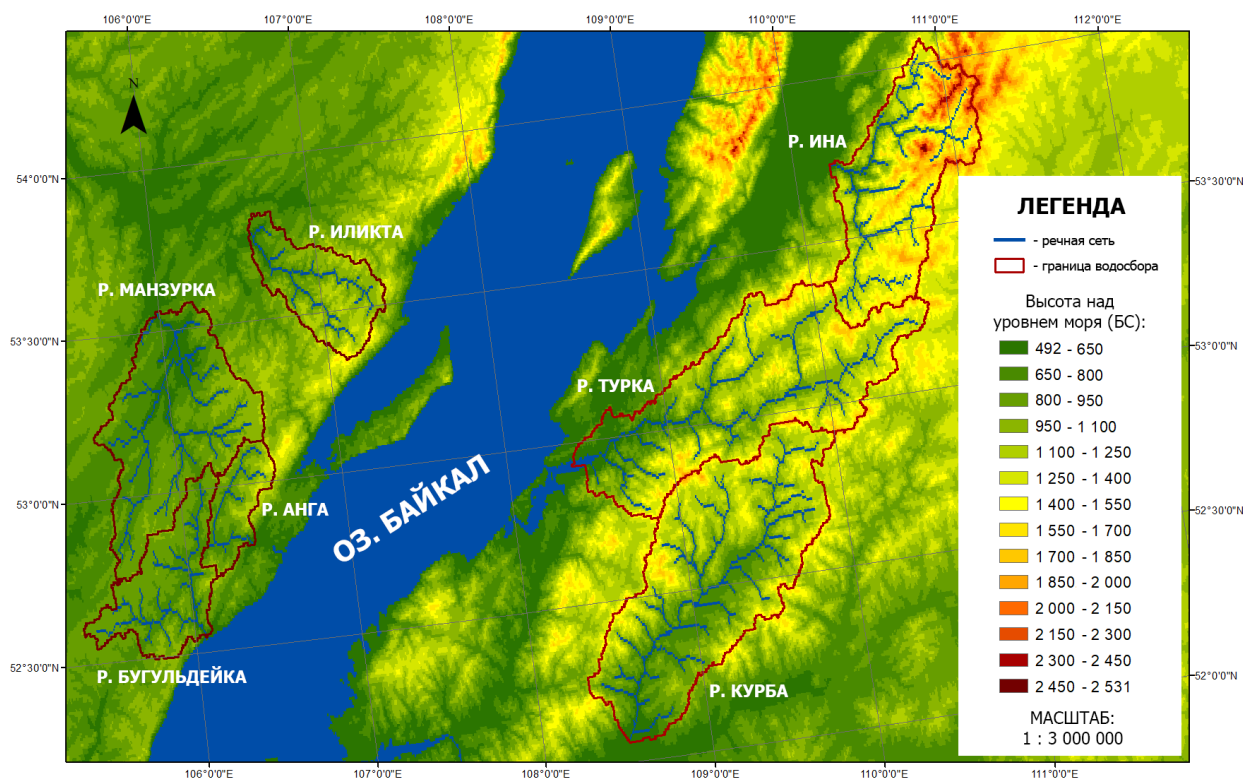


Рисунок 2.1 Карта расположения исследуемых водосборов

Водосборы рек находятся в разнообразных природных условиях. Бассейны рек Анга, Бугульдейка, Манзурка и Иликта находятся на западном побережье озера Байкал (рис. 2.1) и в своих верхних частях водосборов схожи по физико-географическим условиям – они

расположены в зоне горной тайги, местами прерываемой редколесьями и безлесными гольцовыми горными вершинами. Для рек Анга и Бугульдейка эта зона сменяется сначала светлохвойной лесостепной, а затем степной природной зоной в нижнем течении, при впадении в Байкал. Река Иликта на всем своем протяжении течет в темнохвойных лесах, сменяя ландшафты со среднегорных до низкогорных. Ландшафтные условия р. Манзурки достаточно сложны – в среднем течении она протекает в светлохвойных среднегорных ландшафтах, местами встречаются темнохвойные участки, а в низовьях, река спускается в широкую долину, занятую разнотравной степью и сельскохозяйственными угодьями [29].

На восточном берегу Байкала расположены три исследуемых водосбора – Турка, Ина и Курба (рис. 2.1). Река Турка берет начало в светлохвойных среднегорьях и высокогорьях, прерываемых темнохвойными участками. В нижнем течении, река протекает по светлохвойной равнинной долине. Природные условия водосбора реки Курбы аналогичны, разве что в нижнем течении, на небольшом протяжении река протекает в степной зоне. Местами, на обоих водосборах встречаются редколесья и гольцовые территории, приуроченные к возвышенностям. Несколько отличается физико-географическое расположение водосбора р. Ина – более высокогорного и крутого. Здесь гораздо чаще встречаются редколесные и гольцовые участки, а темнохвойные и светлохвойные ландшафты почти равны по площади [29].

2.3 Рельеф

Рельеф исследуемой территории горный – все исследуемые реки берут свое начало в горах, с чем связаны повышенные значения средней высоты и высокие уклоны водосборов (табл. 2.2).

Таблица №. 2.2 Характеристики рельефа исследуемых водосборов

	Исследуемые реки						
	Анга	Бугульдейка	Иликта	Манзурка	Турка	Ина	Курба
Минимальная высота, м	513	499	603	556	492	518	566
Максимальная высота, м	1592	1157	1594	1166	1990	2531	1995
Средняя высота, м	920	833	978	796	1139	1441	1063
Средний уклон склонов водосбора, ‰	78	74	94	53	120	161	105

На западном побережье, р. Анга и р. Бугульдейка берут начало на Онотской возвышенности, затем пересекают Приморский хребет, который достаточно резко

обрывается к озеру Байкал. Река Анга, при этом, буквально прорезает хребет, что и дало ей название, которое переводится с бурятского как «ущелье, промоина» [15]. Несмотря на некоторую разницу в амплитудах высот на водосборе, у двух данных бассейнов чрезвычайно схожи значения уклонов и гипсографические кривые (рис. 2.2.1).

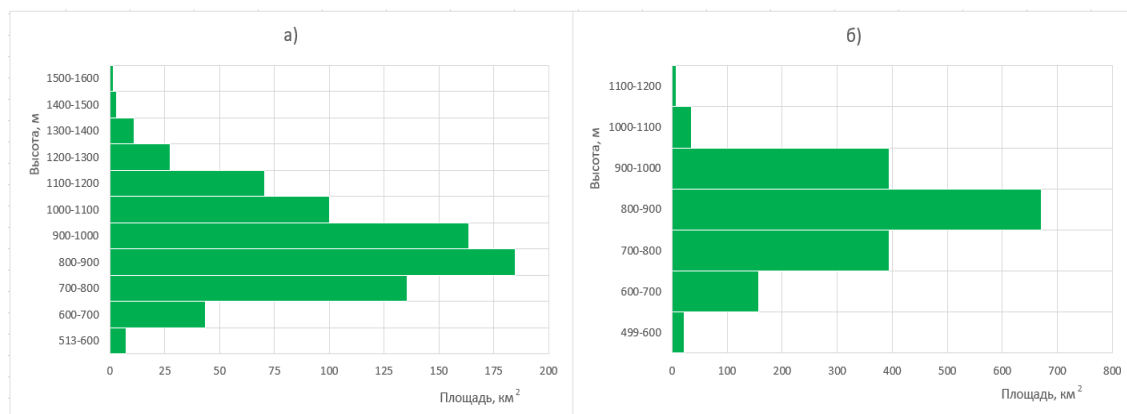


Рисунок 2.2.1 Гипсографические кривые водосборов р. Анга (а) и р. Бугульдейка (б)

Исток р. Манзурки также расположен на Онотской возвышенности, но в отличие от остальных исследуемых рек, ее уклон не столь велик – в среднем течении река несет воды по Предбайкальской впадине, по достаточно выработанной речной долине. Река Иликта расположена чуть к северу-востоку от Манзурки и берет начало на Приморском хребте, вплотную к озеру Байкал. В отличии от Анги и Бугульдейки, Манзурка и Иликта расположены на западном склоне хребта и несут воды на северо-запад, являясь притоками р. Лена. Из всех четырех указанных рек, наибольшим уклоном обладает Иликта (рис. 2.2.2).

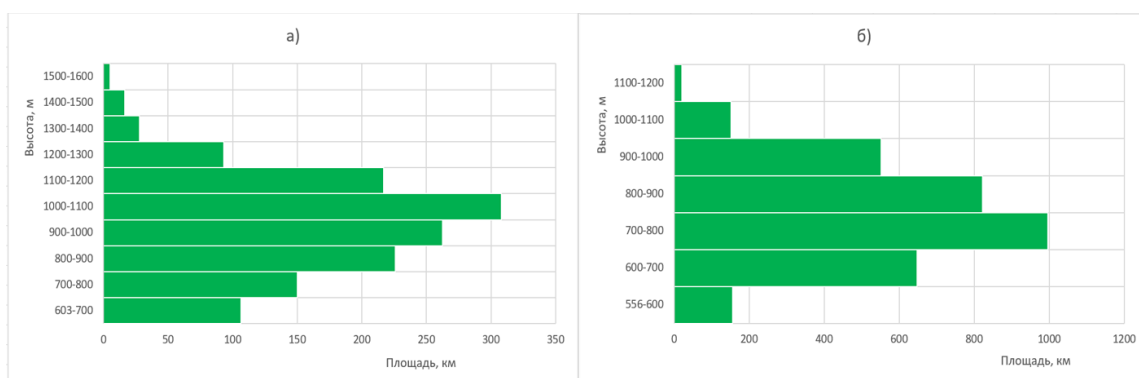


Рисунок 2.2.2 Гипсографические кривые водосборов р. Иликта (а) и р. Манзурка (б)

Среди рек восточного побережья, наиболее гористой является Ина, берущая начало на высоком и крутом Икатском хребте и лишь в нижнем течении спускаясь в Баргузинскую долину и впадая в Баргузин. Река Турка расположена чуть к югу от Ины, водоразделы верховий рек «встречаются» на Голондинском хребте. Турка протекает по пересеченной местности между Голондинским хребтом и хребтом Улан-Бургасы – последний является местом истока третьей исследуемой реки данного побережья - Курбы. Характер рельефа

водосборов рек Турка и Курба чрезвычайно схож, что хорошо заметно из гипсографических кривых бассейнов (рис. 2.2.3).

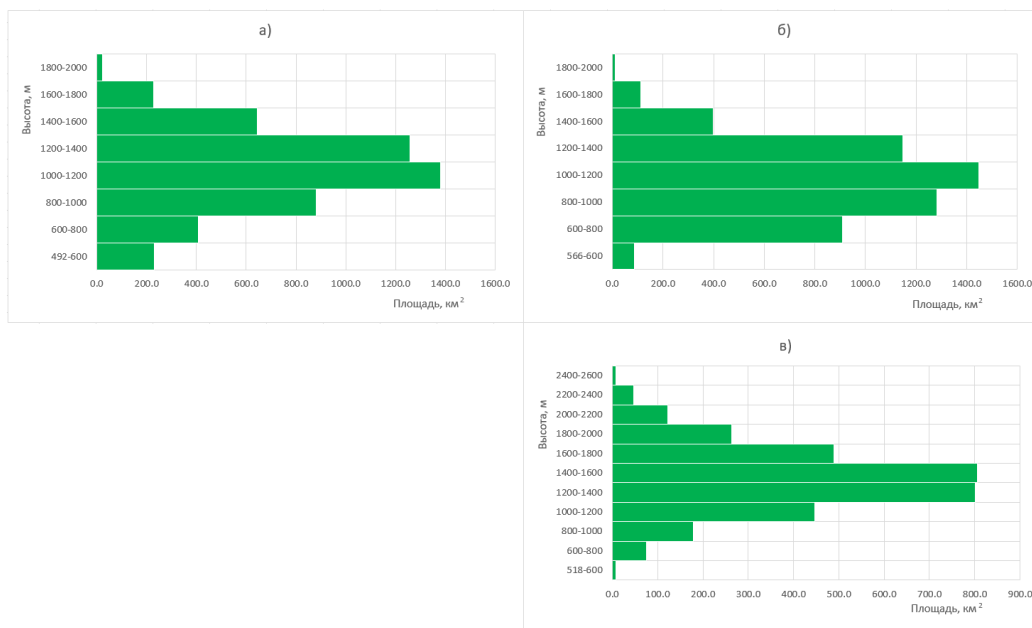


Рисунок 2.2.3 Гипсографические кривые водосборов р. Турка (а), р. Курба (б) и р. Ина (в)

2.4 Климат

Климат Прибайкалья резко-континентальный, на климатические условия водосборов значительное влияние оказывает их расположение и орографическая обстановка – Оз. Байкал несколько смягчает климат прилегающих прибрежных территорий, снижая годовую амплитуду температур приблизительно на 10°C (так, например, амплитуда температур с западной стороны Приморского хребта составила около 56°, а амплитуда температур на восточном склоне, со стороны озера, гораздо меньше – порядка 46° за период 2008-2017).

Осадки на данной территории формируются несколькими воздушными массами – в первой половине теплого периода выпадение осадков вызвано появлением циклонов, приходящих на территорию с запада, к концу теплого периода осадки могут формироваться под воздействием циклонов пришедших с юга [8]. Большая часть осадков – около 82% выпадает в теплое время года, количество твердых осадков невелико. Однако, соотношение твердых и жидких осадков непостоянно, «перевес» твердых осадков приводит к обильным и интенсивным половодьям – так, например, случилось, когда зимой 2011-2012 года выпало около 30% годовой суммы осадков.

Из этого следует, что наветренными, на данной территории, являются западные, юго-западные склоны. На наветренной стороне расположены бассейны рек Иликты и

Манзурки (притоки р. Лены, западный берег Байкала) и реки Турка и Ина (восточное побережье). На подветренной – реки Анга и Бугульдейка (западный берег озера), а также река Курба (восточный берег).

Ввиду этого, например, с западной стороны Приморского хребта (бассейны Манзурки и Иликты) в год выпадает примерно на 90 мм осадков больше, чем на восточном склоне (бассейны Анги и Бугульдейки) - в среднем 340 мм и 252 мм за год соответственно (за период 2000-2017).

По данным Экологического атласа бассейна озера Байкал (2015) [28] в бассейне реки Турка выпадает от 400 мм осадков в год в низовьях реки вплоть до чуть более 600 мм в верховьях, в бассейне р. Ины – от 400 до 500 мм, а на водосборе р. Курба – от 200 до 500 мм.

Изменение климата оказывает непосредственное влияние на метеорологические характеристики Прибайкалья. Так, отмечено увеличение среднегодовой температуры на 1,65°C за последние 100 лет, причем местные темпы роста потепления превосходят общемировой рост почти в два раза [22]. Внутригодовое распределение этого повышения неравнозначно – наиболее резкий рост температуры наблюдается зимой, наименее – в летне-осенний период [24].

Что касается влияния климатических изменений на атмосферные осадки в данном регионе, то оно неоднозначно. Исследователями отмечается общее увеличение осадков с середины 70-х годов прошлого века, но оно невелико. Вместе с тем, наблюдается внутригодовое перераспределение осадков, с увеличением осенне-зимних осадков и уменьшением весенне-летних [22].

2.5 Почвы

Почвенный покров исследуемых рек достаточно разнообразен. Верховья рек Бугульдейки и Анги сложены подбурами, подзолами и, местами, темно-каштановыми почвами, мощность которых уменьшается при поднятии в горы, а щебнистость увеличивается. В среднем течении этот набор сменяется дерново-подбурами. Подбуры отличаются высокой фильтрацией и ярко выраженным промывным режимом. Несколько меньшей, но все равно значительной фильтрацией обладают и подзолы. Для подзолов также характерно, в отличие от подбуров, неравномерное смачивание почвенного горизонта, в форме длинных, чередующихся языков влажности, приуроченных к корням растений и прочим более проницаемым зонам. В нижнем течении представлены каштановые почвы. В

отличии от почв, названных выше, каштановые относятся к типу непромывных почв – в них отсутствует инфильтрация в грунтовые воды [28, 29].

Верховья Манзурки и Иликты также сложены подбурами и подзолами, в бассейне Манзурки, местами встречаются дерново-подзолистые почвы, а на Иликте – иллювиально-железистые подзолы. В низовьях обеих рек встречаются дерново-карбонатные почвы [29].

Что касается водосборов с восточного побережья озера, то бассейн реки Турка практически полностью состоит из подбуров таежных, лишь в низовьях прерываемых каштановыми почвами. На реке Курба, подбурами сложены верховья бассейна, в среднем течении в равной мере распространены дерново-буроземные, иллювиально-железистые подзолы и серые лесные почвы. Идентичная бассейну р. Курба почвенная обстановка на водосборе р. Ина, там, помимо указанных выше, в низовьях еще могут встречаться каштановые почвы [28, 29].

2.6 Гидрология

Гидрологический режим рек Прибайкалья чрезвычайно сложен. Питание рек смешанное, весной (в конце апреля - начале мая) наблюдается половодье, как правило, с резким подъемом, но достаточно растянутое во времени. Половодье может плавно переходить в летнюю межень, прерываемую отдельными небольшими паводками, а в конце лета, в августе, на водосборе формируются паводки, расходы которых нередко превышают расходы талых вод (см. рис. 2.3 б). Питание рек в зимний период происходит «только за счет подземных вод» [22], причем реки с небольшим водосбором полностью перемерзают, как например р. Анга (водосбор – 727 км²).

Фазы гидрологического режима могут быть не выражены как в отдельные годы, так и в течение достаточно долгого периода. Например, половодье на р. Анге (рис. 2.3 а) и р. Бугульдейке в 2011 г.; на реках Турка, Курба и Ина в 2014-2017 гг.. Также могут отсутствовать и летние паводки, как, например, на р. Анге и р. Бугульдейке в 2015 г.; реках Иликта и Манзурка, 2013-2015 гг..

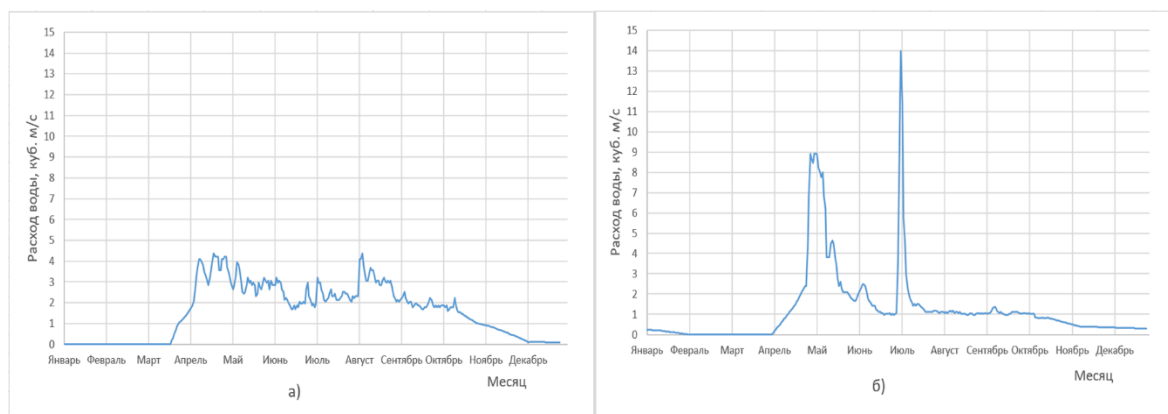


Рисунок 2.3 Ход среднесуточных расходов на р. Анга в 2011 г. (а) и 2017 г. (б)

Водность паводков, очевидно, непостоянна в многолетнем ходе расходов, однако также различается и сток половодного периода – в отдельные годы, наблюдаются особенно катастрофические половодья, например, в 2012 году, когда, как уже было отмечено выше, количество выпавших твердых атмосферных осадков было чрезвычайно велико. В среднем, на западном побережье доля твердых осадков составляет 18% от общего числа (за период 2008-2017 гг.), в 2012 году это значение достигло 31%.

На особенность гидрографа стока местных рек оказывает влияние и горный рельеф всех исследуемых водосборов – с ним связаны острые пики весеннего половодья, несколько растянутого по времени ввиду гористости водосборов, прерываемого летом еще более острыми и резкими пиками паводков.

С 1996 и по сегодняшний день на территории водосбора оз. Байкал наблюдается маловодный период [22]. Данное маловодье характеризуется гидрологами как «уникальное по продолжительности и интенсивности снижения стока рек в регионе» [24, 26]. Обостряющаяся маловодность оказывает негативное влияние на местную гидроэнергетику – уровень оз. Байкал падает, что вынуждает Иркутскую ГЭС снижать сбросные расходы и работать не в полном режиме [22].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ход работы производился в следующем порядке: первоначально были отобраны водосборы Прибайкалья, лесной покров которых существенно пострадал от обезлесения, была произведена оценка площади лесного покрова до и после обезлесения. Затем, произведен анализ метеорологической и гидрологической информации.

Анализ влияния изменений лесистости на речной сток производился старейшим методом сравнения с рекой-аналогом. Метод заключается в сопоставлении гидрологических данных двух рек, физико-географические условия которых максимально близки и существенным отличием является то, что на одном из водосборов произошла крупная потеря лесного покрова. Данный метод является достаточно актуальным и используется по сей день [2, 4, 31, 37].

3.1 Исследование изменений в лесном покрове водосборов

Отобранные водосборы оцифровывались в программном обеспечении ArcGIS 10.4, с использованием пакета Hydrology и цифровой модели рельефа GTOPO30. На основе ЦМР также производился анализ рельефа водосборов – были составлены гипсографические кривые речных бассейнов, рассчитана их средняя высота и уклоны склонов.

В этом же программном обеспечении производился анализ лесного покрова. Помимо использования карты обезлесения Мэрилендского университета находящейся в открытом доступе, были привлечены спутниковые снимки Landsat 7 и Landsat 8 за несколько лет – 2003, 2014-2015 гг [34]. Данные снимки использовались для нескольких целей – оценить точность данных Мэрилендского университета и составить карту лесистости указанных водосборов за 2014 г. – за год до крупного пожара.

Оцифрованные полигоны карты обезлесения визуально сравнивались с площадью гарей на спутниковых снимках, которые чрезвычайно хорошо выделяются на фоне окружающей растительности. Оценка дала удовлетворительные результаты – площади гарей на карте и снимках совпали. По датам спутниковых снимков определялась дата начала и завершения пожара, по оцифрованным полигонам карты обезлесения оценивалась площадь гарей.

Составление карт лесистости водосборов также производилось в программном обеспечении ArcGIS, на основе автоматического дешифрирования методом «неконтролируемой классификации» спутниковых снимков Landsat 7 и Landsat 8 за лето 2014 г. Термин «Неконтролируемой классификации» обуславливается заложенным

методом – классификация осуществляется самим программным обеспечением, которое на основе анализа спектральной яркости объектов на снимке, разбивает изображение на полигоны, соответствующие числу заданных классов, без вмешательства пользователя [21]. Для классификации использовалась комбинация каналов 5-4-3 для снимков Landsat 7, или же 6-5-4 для Landsat 8. Данная комбинация показала лучшие результаты дешифрирования, по сравнению с традиционной комбинацией «ложных цветов» 4-3-2 (5-4-3) - последняя занижала площадь лесов.

Результаты неконтролируемой классификации сравнивались со спутниковыми снимками Google Earth, обладающими более высоким разрешением, а также с фотографиями пользователей данного сервиса, имеющих географическую привязку. Анализ продемонстрировал точное и аккуратное отделение лесных массивов от безлесных участков местности. Таким образом, получилось оценить состояние лесного покрова до и после пожара 2015 г.

3.2 Анализ гидрометеорологических данных

Обработка и представление метеорологических характеристик производились на основе данных трех метеостанций: Баяндай и Большое Голоустное – на западном побережье озера Байкал и станции Горячинск на восточном берегу [5]. В ходе работы были построены графики хода суточных осадков, и среднесуточной температуры за период 2000-2017 гг.

Анализ метеорологических характеристик заключался в сопоставлении графиков метеоданных и гидрографов стока, с целью исследования отдельных, особенно острых пиков половодий и паводков за исследуемый период. Такой анализ позволил объяснить происхождение отдельных половодий и паводков на отобранных водосборах. Метеоданные также легли в расчет коэффициента стока – отношения среднегодового расхода воды к сумме выпавших за год осадков.

Для анализа гидрологической роли обезлесения были обработаны данные расходов воды разных сроков: среднесуточные, среднемесячные и среднегодовые расходы [1, 9, 10]. По этим значениям были построены соответствующие гидрографы исследуемых рек и рек-аналогов. Сравнение гидрографов исследуемой реки (на которой произошел пожар) и реки-аналога (на которой не было отмечено пожара) между собой, позволяет судить о влиянии обезлесения на речной сток исследуемой реки.

Как уже было отмечено выше, помимо работы с расходами, были также рассчитаны среднегодовые коэффициенты стока, характеризующие долю осадков, формирующих

поверхностный речной сток. Составленные графики среднегодовых коэффициентов стока также сравнивались между собой, с целью поиска отличий графика исследуемой реки от графика реки-аналога, вызванных лесными пожарами.

Исследуемые периоды гидрологической информации разные. Среднесуточные расходы всех рек были проанализированы за период с 2008 по 2017 гг. Среднемесячные и среднегодовые для пары р. Иликта и р. Манзурка за 1975-1988 и 2008-2017 гг.; среднемесячные и среднегодовые для пары р. Анга и р. Бугульдейка, а также для рек восточного побережья (р. Турка, р. Курба и р. Ина) были оценены за период 1990-2017 гг..

СОСТОЯНИЕ ЛЕСНОГО ПОКРОВА ИССЛЕДУЕМЫХ ВОДОСБОРОВ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЖАРОВ

4.1 Лесистость водосборных бассейнов

Как и прочие физико-географические характеристики исследуемых водосборов, лесной покров чрезвычайно разнообразен на описываемой территории.

Леса бассейнов р. Анга и р. Бугульдейка представлены преимущественно светлохвойной тайгой – лиственницей даурской, лиственницей сибирской и, в меньшей степени, сосной обыкновенной [28, 29]. Распространение и густота этих лесов уменьшается вниз по течению реки – вместе со сменой природных зон от горнотаежной до степной.

Для бассейна р. Иликта характерно распространение темнохвойной тайги, представленной пихтой, сосной сибирской (известной как сибирский кедр) и елью сибирской. Лесной покров водосбора р. Манзурки более разнообразен – там встречаются как участки темнохвойной, так и светлохвойной тайги, распространение и густота которых, также как на Анге и Бугульдейке, уменьшается вниз по течению, где река протекает в степной природной зоне [29].

В лесном покрове бассейнов р. Курба и р. Турка доминируют светлохвойные породы – лиственница даурская и лиственница сибирская перемежаемые участками темнохвойной тайги – преимущественно кедром сибирским. В нижнем течении, река Турка протекает в лесах сосны обыкновенной, а низовья р. Курбы представлены степной и лесостепной растительностью. Для р. Ина характерно равное распространение светлохвойных и темнохвойных пород по всей территории бассейна [28, 29].

На территории всех исследуемых водосборов встречаются участки мелколиственных лесов, сложенных березой (береза плосколистная, береза шерстистая) и осиной (осина обыкновенная) [28]. Их распространение носит антропогенный характер – как и в случае с европейскими хвойными лесами, коренные леса Прибайкалья после вырубок и пожаров как правило сменяются мелколиственными сообществами.

Еще одной общей особенностью всех речных бассейнов является изменение густоты лесного покрова с увеличением высоты местности – долинные леса сменяются редколесьями, а затем и кустарничковыми сообществами (кедровый стланик, береза кустарниковая, береза растопыренная и т.д.) [28]. На особенно высоких и крутых возвышенностях растительность может отсутствовать вовсе.

В ходе работы был проведен анализ площади лесного покрова исследуемых водосборов на 2014 г – за год до крупного пожара, затронувшего водосборы рек Анги, Иликты, Турки, Курбы и Ины.

Данные о лесистости водосборных бассейнов, выражены как в абсолютных значениях – квадратных километрах, так и в относительных – проценте, от общей площади водосборного бассейна (табл. 4.1.1 и табл. 4.1.2).

Карты лесного покрова речных бассейнов (рис. 4.1.1-4.1.2) отражают распределение леса (отмечен зеленым цветом) по площади водосборного бассейна. Градация зеленого цвета от светлых оттенков до темных отражает характеристики лесного покрова – прежде всего, густоту и сомкнутость лесных крон, в меньшей степени возраст насаждений. Чем темнее участок на карте, тем более плотный и зрелый лесной покров распространен на данной территории.

Лесистость водосборов в парах р. Анга – р. Бугульдейка, р. Иликта – р. Манзурка достаточно схожа и отличается примерно на 10%. Чуть более разнообразно распределение лесного покрова для группы рек западного побережья – там она варьируется в пределах 13%.

Таблица № 4.1.1 Лесистость водосборных бассейнов западного побережья Оз. Байкал на 2014 г

	Исследуемые реки							
	Анга		Бугульдейка		Иликта		Манзурка	
	Лес	Не лес	Лес	Не лес	Лес	Не лес	Лес	Не лес
Площадь, %	63,8	36,2	74,6	25,4	63,7	36,3	53,8	46,2
Площадь, км ²	464	263	1268	432	899	513	1765	1515

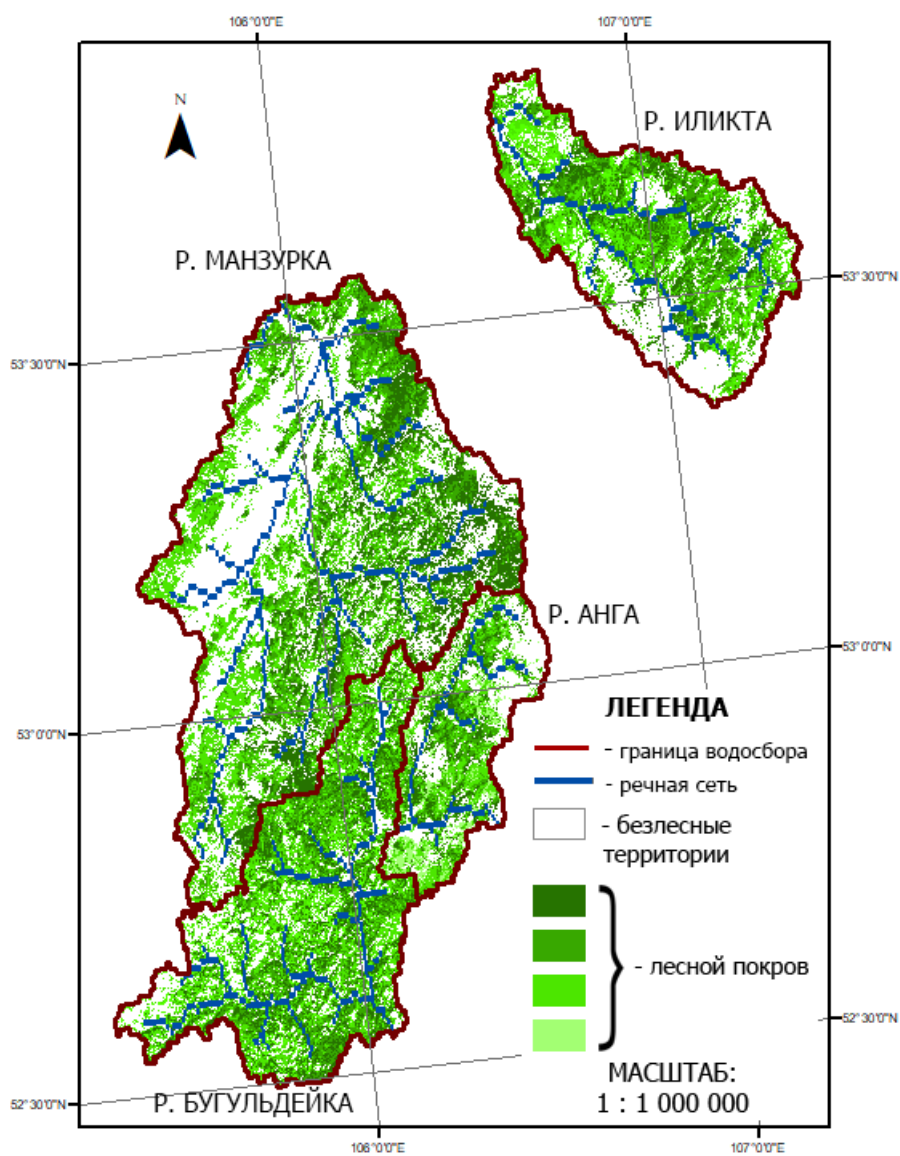


Рисунок 4.1.1 Карта лесного покрова водосборов западного побережья Оз. Байкал

Таблица № 4.1.2 Лесистость водосборных бассейнов восточного побережья Оз. Байкал на 2014 г

	Исследуемые реки					
	Турка		Ина		Курба	
	Лес	Не лес	Лес	Не лес	Лес	Не лес
Площадь, %	71,0	29,0	58,4	41,6	65,5	34,5
Площадь, км ²	3588	1466	1895	1350	3534	1862

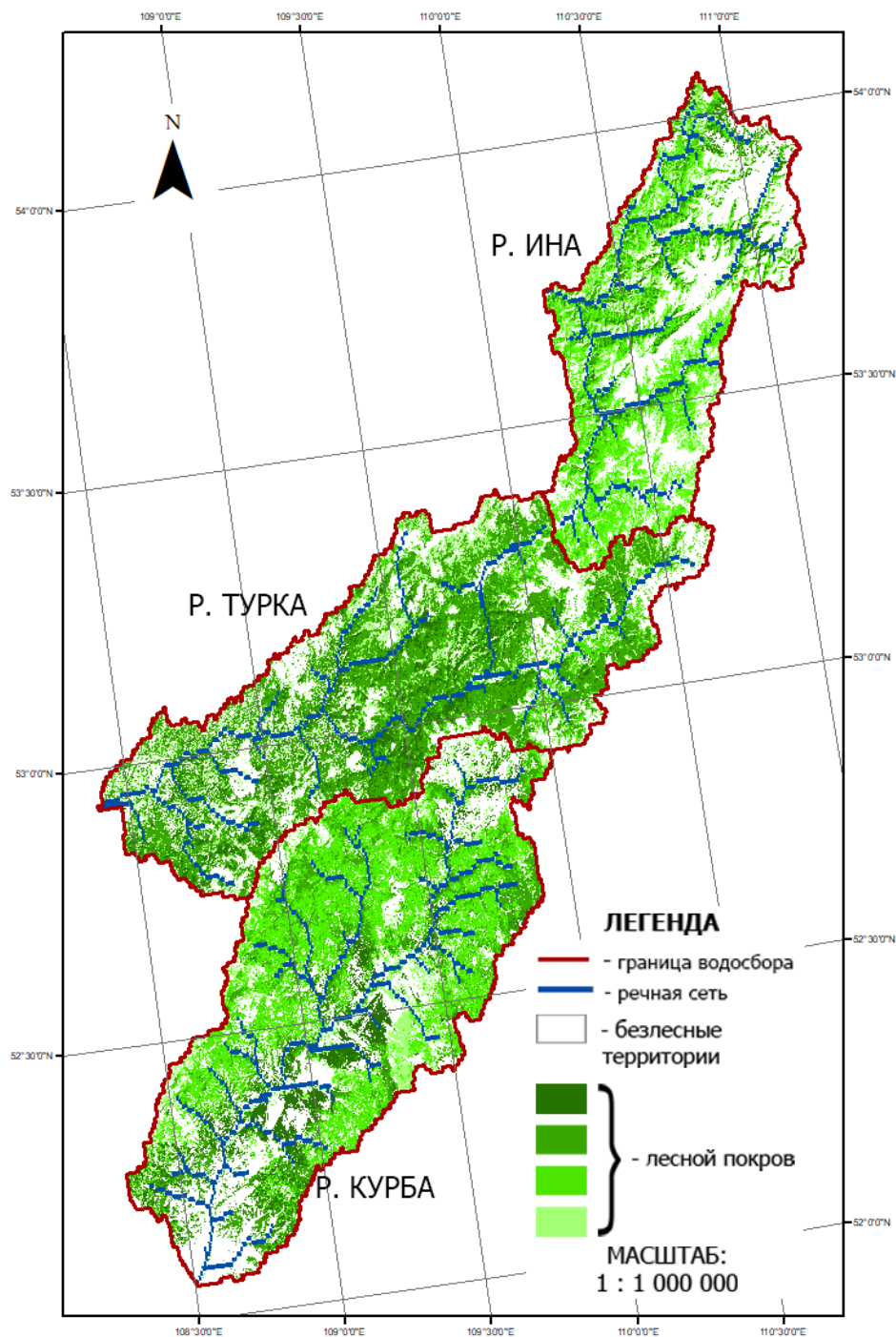


Рисунок 4.1.2 Карта лесного покрова водосборов восточного побережья Оз. Байкал

4.2 Пожары на исследуемых водосборах

В рамках данной работы, производился анализ влияния на речной сток двух крупных потерь лесного покрова в 2003 и в 2015 году (рис. 4.2.1 и 4.2.2, табл. 4.2). Причиной обоих процессов обезлесения послужили летние лесные пожары.

Из всех исследуемых водосборов, пожар 2003 г. существенно затронул только бассейн р. Анга и, в меньшей степени, бассейн р. Бугульдейка. В бассейне р. Бугульдейка пожары начались не позднее конца мая, на водосборе р. Анга они случились несколько позже, в первой половине июня. К началу августа пожар достиг наибольшей площади распространения на обоих водосборах. В середине августа отмечается отсутствие прироста гарей, что вероятнее всего связано с обильным ливнем 7 августа, когда на западном побережье озера выпало около 34 мм осадков.

В бассейне реки Анга выгорело 108 км² лесного покрова, что равняется почти 15 % всей территории водосборного бассейна. Пожар распространялся в верховьях реки в северо-восточном районе водосбора. В бассейне р. Бугульдейка погибло 107 км² лесного покрова – т.е. 6 % всей территории речного бассейна. В отличие от гарей на Анге, которые расположились кучно в одном месте, пожары в бассейне Бугульдейки раскиданы локальными небольшими территориями по всей юго-восточной области бассейна. Этот факт, а также то, что в процентном соотношении водосбор р. Бугульдейка пострадал гораздо меньше, позволяет сравнить влияние пожаров на двух бассейнах, используя водосбор р. Бугульдейки как водосбор-аналог.

Гораздо более катастрофичный пожар случился в 2015 году – он затронул бассейны рек как западного (р. Анга и р. Иликта), так и восточного побережья (р. Турка, р. Курба и р. Ина) оз. Байкал. Причиной особенного распространения данного пожара послужила метеорологическая обстановка того года, который выдался чрезвычайно сухим - за весь теплый период 2015 г. выпало 198 мм жидких осадков, что более чем на 100 мм меньше чем в 2014 году и примерно на 80 мм меньше, чем в среднем за предыдущее десятилетие (по данным метеостанций западного побережья).

В бассейне Иликты пожар начался в первой половине июня, а на водосборе Анги, а также водосборах восточного побережья, случился несколько позже, в конце июня – начале июля 2015 года. Наиболее интенсивно он разгорелся в августе и остановился в распространении в начале сентября, скорее всего, после обильных осадков 4-5 сентября (за два дня выпало 36,5 мм осадков) на западном побережье и 6-8 сентября на восточном (около 18 мм).

В бассейне реки Иликты пожар 2015 года уничтожил 500 км² лесного покрова и прошел по всей северо-восточной области водосбора, где расположены верховья реки, при этом, гари имеют сплошное распространение. На р. Анге погибло около 84,5 км² леса, то есть на 23,4 км² меньше, чем в 2003 году. Гарь, при этом, расположилась сосредоточено в среднем течении реки. Стоит отметить, что конфигурация гарей на водосборах обеих рек такова, что они расположились вплотную к поймам рек, а не вдали от водотоков.

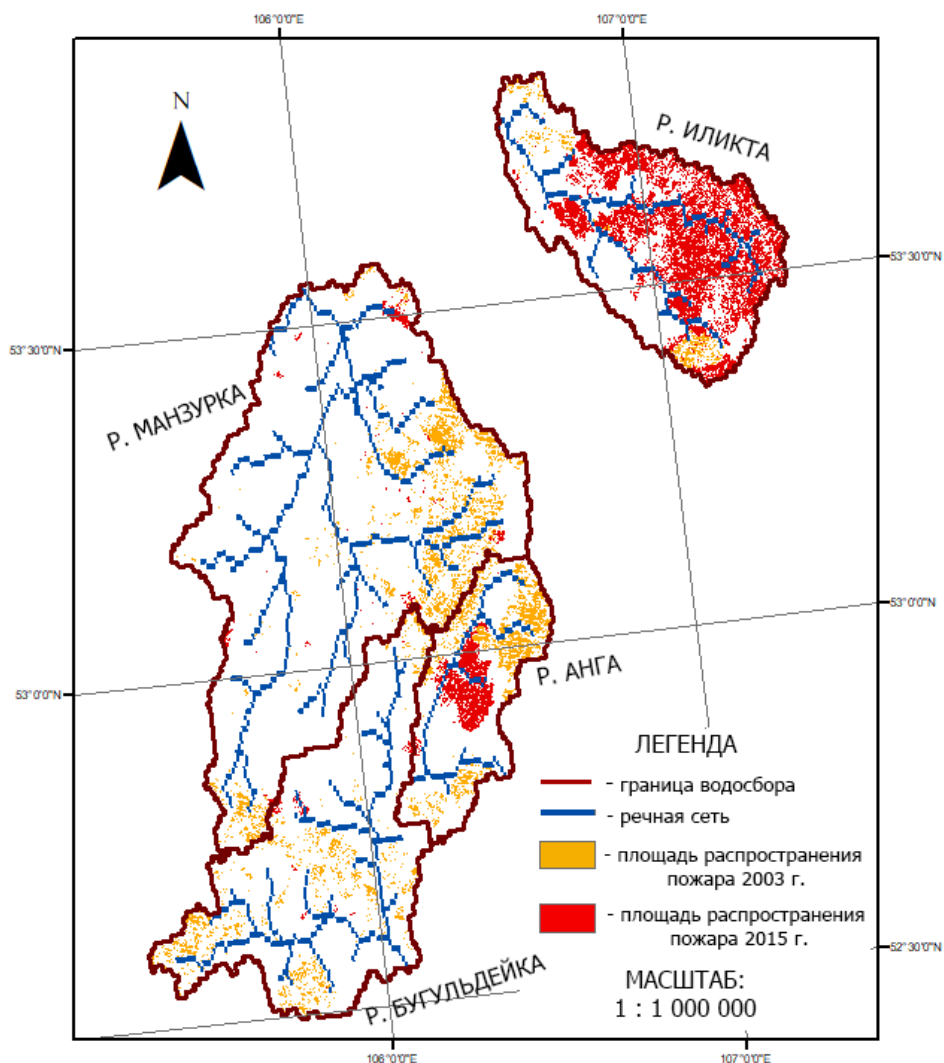


Рисунок 4.2.1 Распространение пожаров на исследуемых водосборах западного побережья
Оз. Байкал

На водосборах восточного побережья сгорело от 15% до 23,5% лесного покрова, больше всего пострадал водосбор р. Турка, меньше всего – бассейн р. Курба. На первом, пожары сосредоточились в среднем течении реки. В бассейне р. Ина гари разбросаны небольшими участками по всему бассейну. На водосборе р. Курба гари представлены сосредоточено в верхнем течении реки.

Пожар 2015 года не затронул лесные насаждения бассейнов рек Манзурка и Бугульдейка, что делает их репрезентативными реками-аналогами для рек Иликта и Анга соответственно.

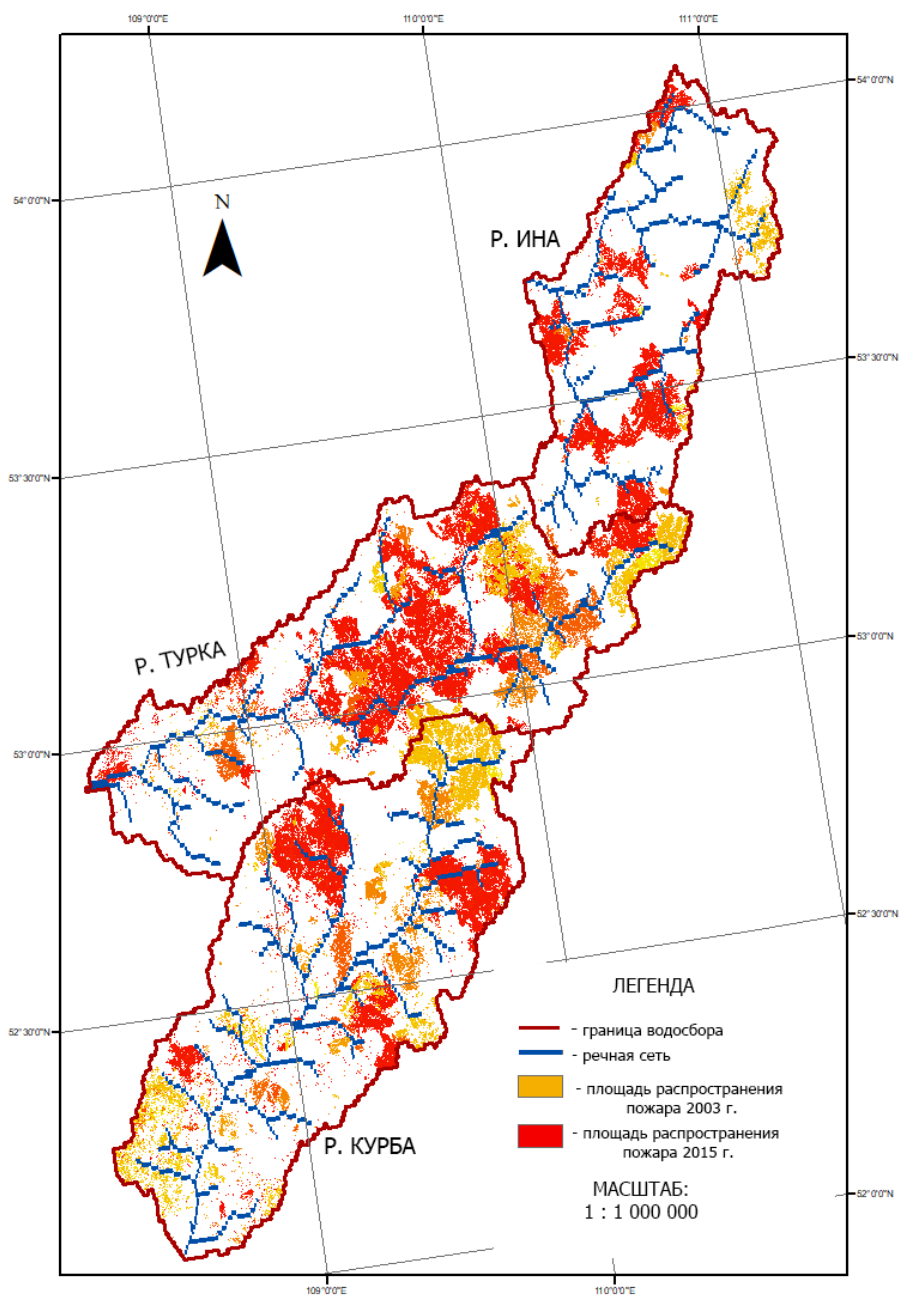


Рисунок 4.2.2 Распространение пожаров на исследуемых водосборах восточного побережья Оз. Байкал

Таблица № 4.2 Оценка площадей лесных пожаров 2003 и 2015 гг.

Водосбор реки	Площадь водосбора, км ²	Пожар 2003 г.		Пожар 2015 г.		
		Площадь гарей, км ²	Площадь гарей, %*	Площадь гарей, км ²	Площадь гарей, %*	Площадь гарей, %**
Анга	727	108	14,9	84,6	11,5	18,2
Бугульдейка	1700	107	6,3	8,83	0,5	0,7
Иликтэ	1412	34,3	2,5	500	35,5	55,6
Манзурка	3280	188	5,5	27,2	0,8	1,5
Турка	5054	193	3,8	843	16,7	23,5
Курба	5396	233	4,3	529	9,8	15,0
Ина	3245	67	2,1	431	13,3	22,7

*В процентах от площади всего водосборного бассейна,

** В процентах от площади лесного покрова

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

5.1 Анализ расходов воды исследуемых рек и рек-аналогов

Анализ гидрологической информации начался с оценки среднегодовых расходов воды (рис. 5.1.1 – 5.1.3). Помимо исследования гидрологической роли обезлесения, анализ среднегодовых гидрографов позволяет оценить водность исследуемой реки, на которой произошли пожары и водность реки-аналога. Эти гидрографы также дают представление о синхронности среднегодовых колебаний стока и о фазе водного периода в период исследования.

В паре р. Анга – р. Бугульдейка (рис. 5.1.1), вторая отличается большей водностью. Интересно, что сток реки Бугульдейки также более изменчив, несмотря на то, что площадь ее водосбора больше бассейна р. Анга. Тем не менее, за весь исследуемый период (2000-2017) пики расходов у обеих рек совпадают – их среднегодовой сток синхронен и позволяет сравнивать сток рек между собой. На представленном рисунке красными пунктирами отмечены пожары 2003 и 2015 гг., затронувшие лесной покров бассейна р. Анга, однако их влияние на среднегодовой сток не прослеживается – увеличение расходов в 2004 и 2016 годах, по сравнению с предыдущим годом, наблюдается как на исследуемой реке, так и на реке-аналоге, где лесной покров не пострадал, ввиду чего можно сделать вывод, что эти повышения не связаны с потерей лесного покрова.

Такие же выводы следуют из анализа гидрографов р. Иликты и р. Манзурки (рис. 5.1.2) – их среднегодовой сток синхронен, и сохраняет свое соответствие даже после катастрофического пожара на р. Иликте в 2015 г., когда было уничтожено более 55% лесного покрова.

В группе рек Турка – Курба – Ина (рис. 5.1.3) от пожаров 2015 г. пострадали все три реки, но в разной степени. Тем не менее, ряды среднегодовых расходов после 2015 г. остаются неизменными между собой, с сохранением прежней синхронности – не удастся установить влияние пожаров на среднегодовой сток.

Стоит отметить, что на всех реках прослеживается глубокая фаза маловодного периода, которая длится с начала века и продолжается вплоть до конца исследуемого периода.

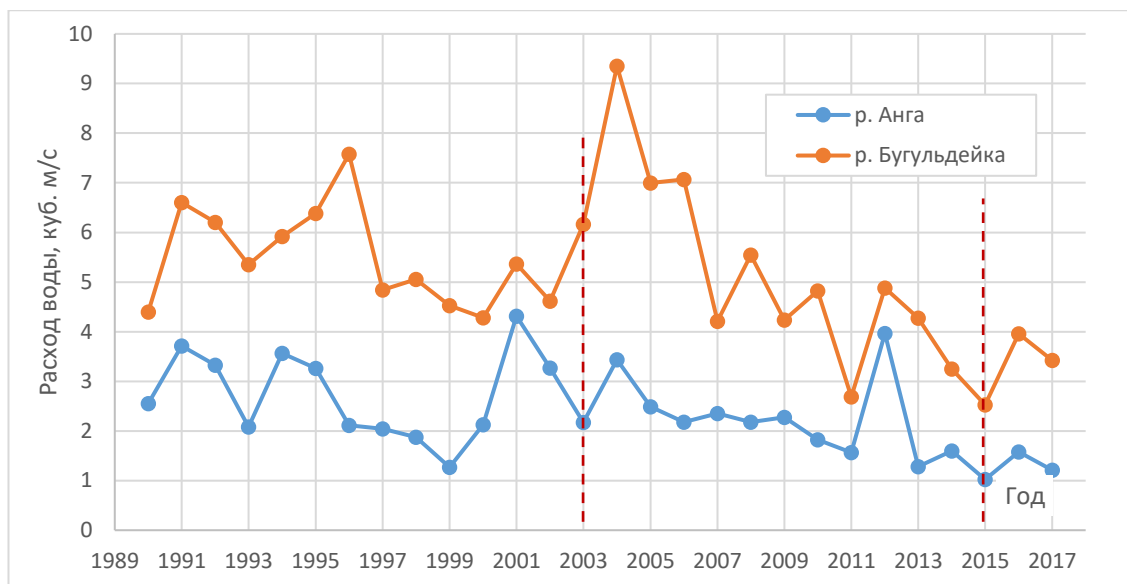


Рисунок 5.1.1 Ход среднегодовых расходов на р. Анга и р. Бугульдейка (1990-2017)

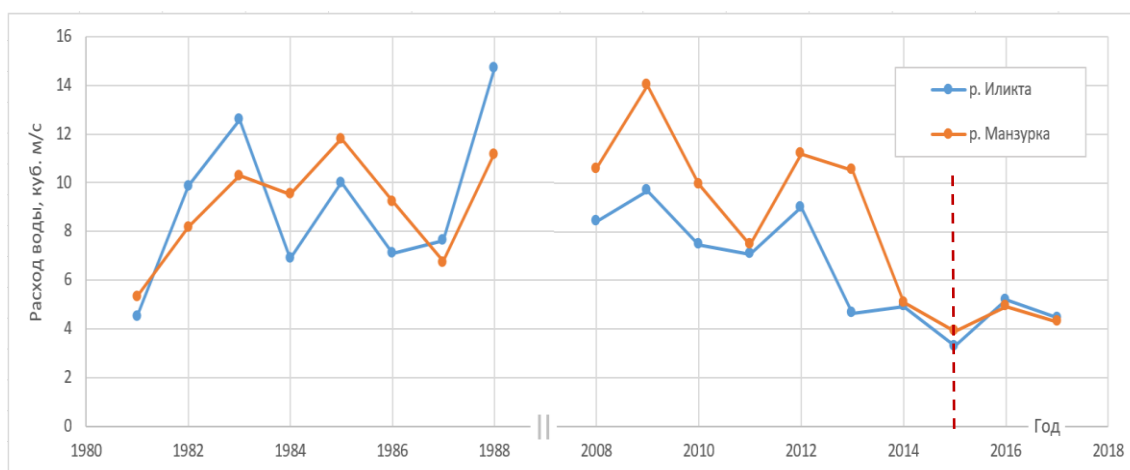


Рисунок 5.1.2 Ход среднегодовых расходов на р. Иликта и р. Манзурка
(1981-1988, 2008-2017)

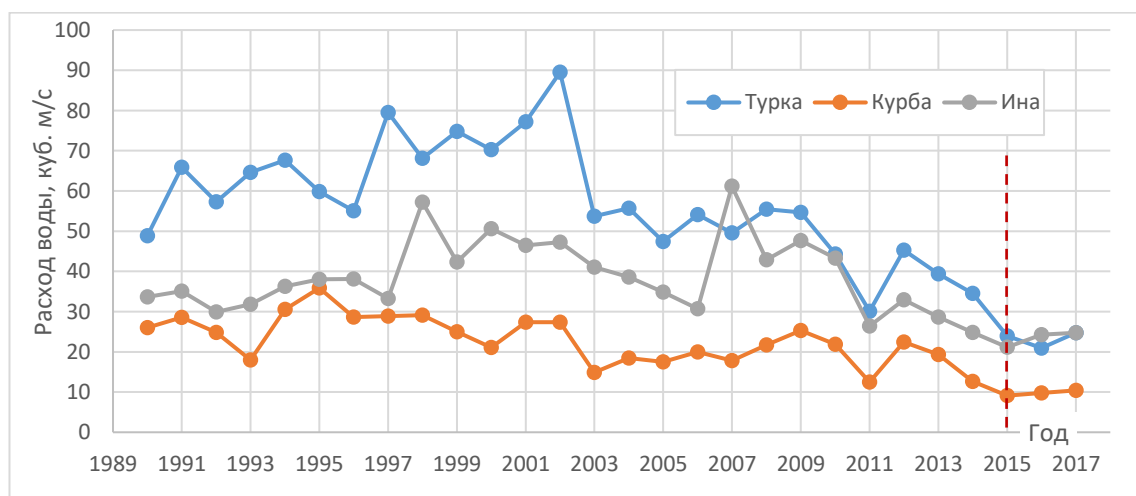


Рисунок 5.1.3 Ход среднегодовых расходов на р. Турка, р. Курба и р. Ина (1990-2017)

На следующем этапе работы анализу подверглись среднемесячные расходы, которые для наглядности, были представлены за период с 2015 по 2017 гг. Анализ среднемесячных расходов позволяет проследить внутригодовое перераспределение стока, наглядно наблюдаемое многими исследователями гидрологической роли обезлесения, как было указано в предыдущих главах. Для возможности сравнения данных между собой, среднемесячный сток был представлен в процентах от годового стока.

Ранее было сказано о непостоянности фаз гидрологического режима на исследуемых реках, что хорошо прослеживается на представленных графиках (рис. 5.2.1-5.2.3) – на всех реках отмечен крупный августовский паводок 2016 года, значительно крупнее летнего паводка в 2017 году и половодья того же 2016 года. В 2017 году водность паводка и половодья сопоставимы, а что же касается 2015 года, то летнего паводка не отмечено вовсе.

Ввиду данной особенности гидрологического режима, нет возможности количественно оценить вклад пожара во внутригодовое распределение стока – можно провести лишь качественный анализ, основанный на сравнении гидрографов двух рек.

В ходе анализа гидрографов рек Анга и Бугульдейка (рис. 5.2.1) отмечено некоторое увеличение доли половодья в годовом стоке у первой реки за период 2016-2017 гг. по сравнению с годом пожара – 2015 г. Если в 2015 г. доля половодного апреля составила 25%, то уже в 2017 году доля половодья в мае равняется 33%. При этом, на р. Бугульдейка весенний сток остается постоянным за три года. Из сравнения среднемесячных расходов на исследуемой реке и реке-аналоге можно сделать вывод, что пожар 2015 года вероятно оказал влияние на внутригодовое распределение стока реки Анги, поспособствовав увеличению доли половодья в годовом стоке. Однако ввиду описанных выше причин, нет возможности сослаться на приведенные проценты увеличения стока в выводах.

Подобных изменений не наблюдается на реке Иликте (рис. 5.2.2), где от пожара пострадало гораздо большая площадь лесных массивов (на р. Анга выгорело 18% лесов, на р. Иликта – чуть более 55%). Напротив, отмечено некоторое уменьшение половодной доли стока в период с 2015 по 2017 год.

Не позволяет сделать каких-либо выводов о гидрологической роли пожаров разной крупности и анализ среднемесячного стока рек Турка, Курба и Ина (рис. 5.2.3). Не отмечено каких-либо изменений в доле половодного, меженного или паводочного стока.

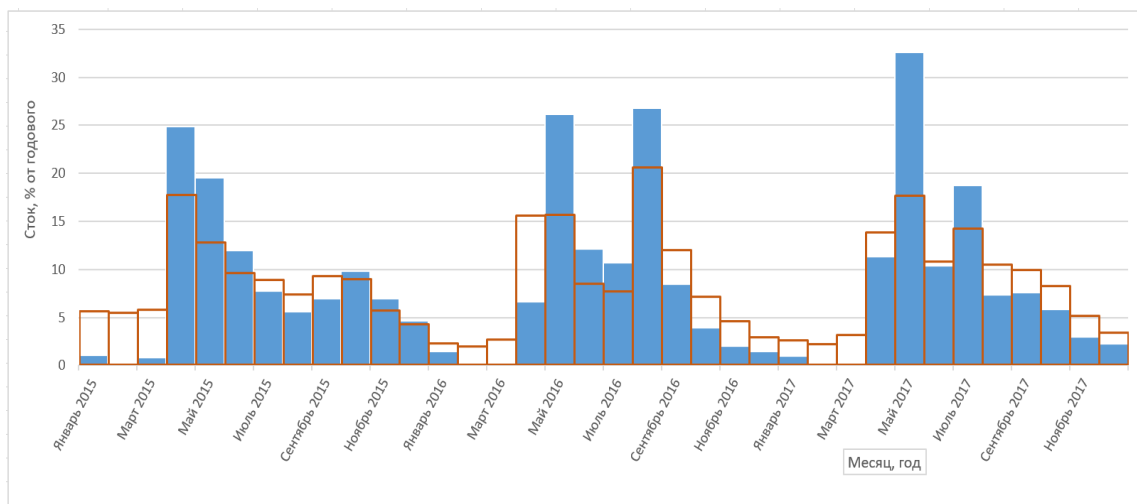


Рисунок 5.2.1 Ход среднемесячных расходов на р. Анга (синий) и р. Бугульдейка (оранжевый) (2015-2017)

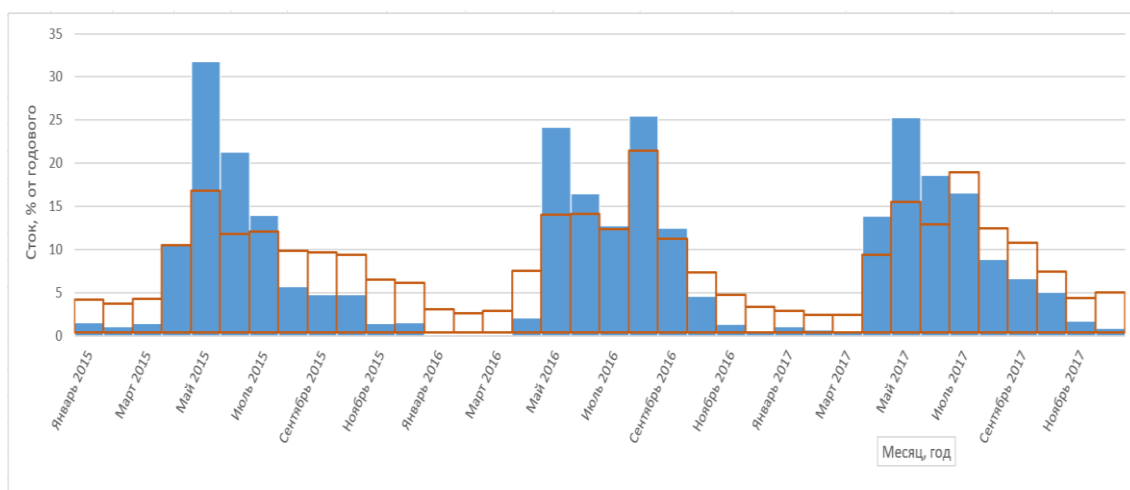


Рисунок 5.2.2 Ход среднемесячных расходов на р. Иликта (синий) и р. Манзурка (оранжевый) (2015-2017)

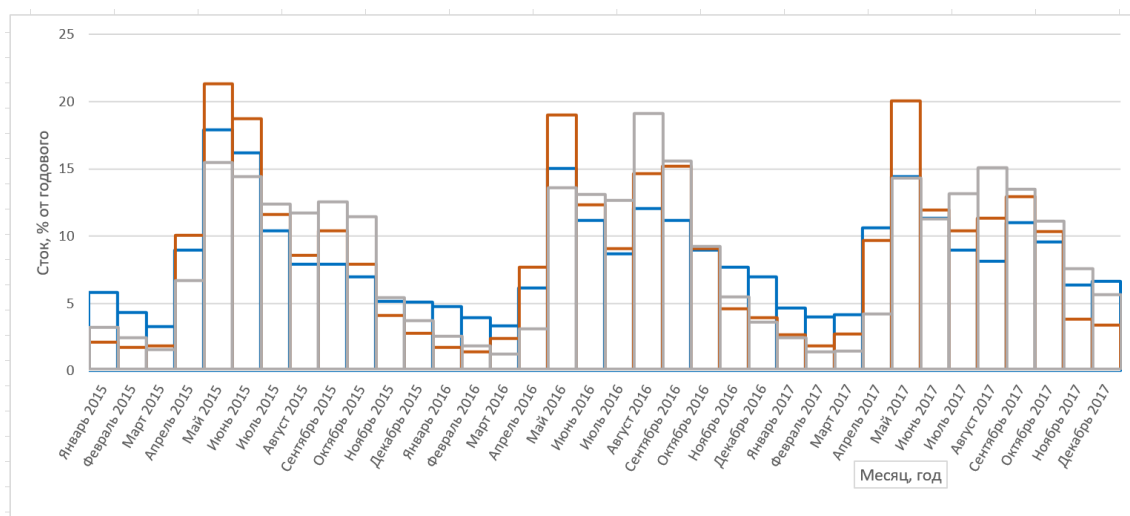


Рисунок 5.2.3 Ход среднемесячных расходов на р. Турка (синий), р. Курба (оранжевый) и р. Ина (серый) (2015-2017)

Анализ среднемесячных и среднегодовых расходов не всегда позволяет отметить возможное изменение в паводочном и половодном режиме исследуемых рек, что отчасти объясняется резким, интенсивным и зачастую краткосрочным характером этих водных явлений, ввиду чего были проанализированы среднесуточные гидрографы стока.

Анализ гидрографов р. Анга и р. Бугульдейка (рис. 5.3.1) еще раз подтверждает сходство этих рек в особенностях гидрологического режима, который у обоих рек синхронен и сопоставим. Изменений в водном режиме между двумя реками после 2015 года не отмечено – половодные и паводочные фазы на обоих реках совпадают, водность паводков и половодий сопоставима. В 2016 году августовский паводок на р. Анге несколько превысил паводок на р. Бугульдейке, несмотря на то, что вторая характеризуется большей водностью. Но это скорее объясняется не пожаром 2015 года, а тем фактом, что паводочные пики на малых водосборах в целом более высоки – подобные случаи на двух реках отмечены и ранее, до пожара.

Гораздо интереснее анализ пары р. Иликта – р. Манзурка (рис. 5.3.2). Как и в случае с предыдущей парой, среднесуточный гидрограф стока обнаруживает синхронность и идентичность фаз гидрологического режима двух рек, однако в этой паре были отмечены некоторые изменения после пожара 2015 года. Так, в 2016 и 2017 гг. на р. Иликте отмечено интенсивное и резкое половодье, которое на р. Манзурка прошло неявным и невыраженным – особенно заметно это на сравнении гидрографов двух рек 2017 года. За предыдущий пожару период наблюдений таких явлений на обоих реках отмечено не было. Возможно обильное половодье на р. Иликте является следствием разрушительного пожара 2015 года.

Анализ среднесуточного гидрографа группы рек Турка, Курба и Ина (рис. 5.3.3) не позволяет сделать четких выводов о гидрологическом влиянии пожара. Реки Турка и Курба характеризуются чрезвычайной идентичностью и синхронностью в гидрологическом режиме, единственным отличием является чуть большая водность р. Турка. Река Ина несколько отличается от остальных двух рек – чуть меньшая площадь водосбора и значительно больший уклон формирует гораздо более резкий и пиковый гидрограф стока. Тем не менее, эти пики также просматриваются и на гидрографах Турки и Курбы – более сглаженные и менее водные. В период 2015-2017 гг. режим рек Турка и Курба не изменился между собой, несмотря на то, что на первой сгорело 23.5 % лесного покрова, а на второй – 15.0 %. Однако, замечено отличие в стоке реки Ины, пики которого за указанный период не дублируются на реках Турка и Курба. Возможно 22.7 % сгоревшего лесного покрова значительно повлияло на гидрологический режим р. Ина, чем на режим двух других рек данной группы, что выразилось в интенсификации паводков.

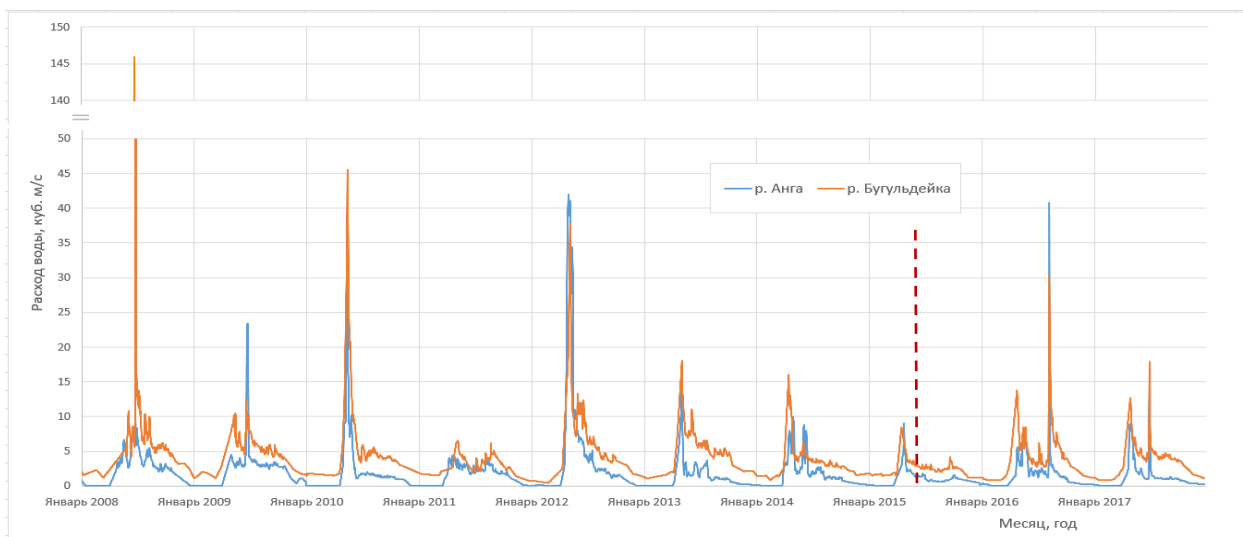


Рисунок 5.3.1 Ход среднесуточных расходов на р. Анга и р. Бугульдейка (2008-2017)

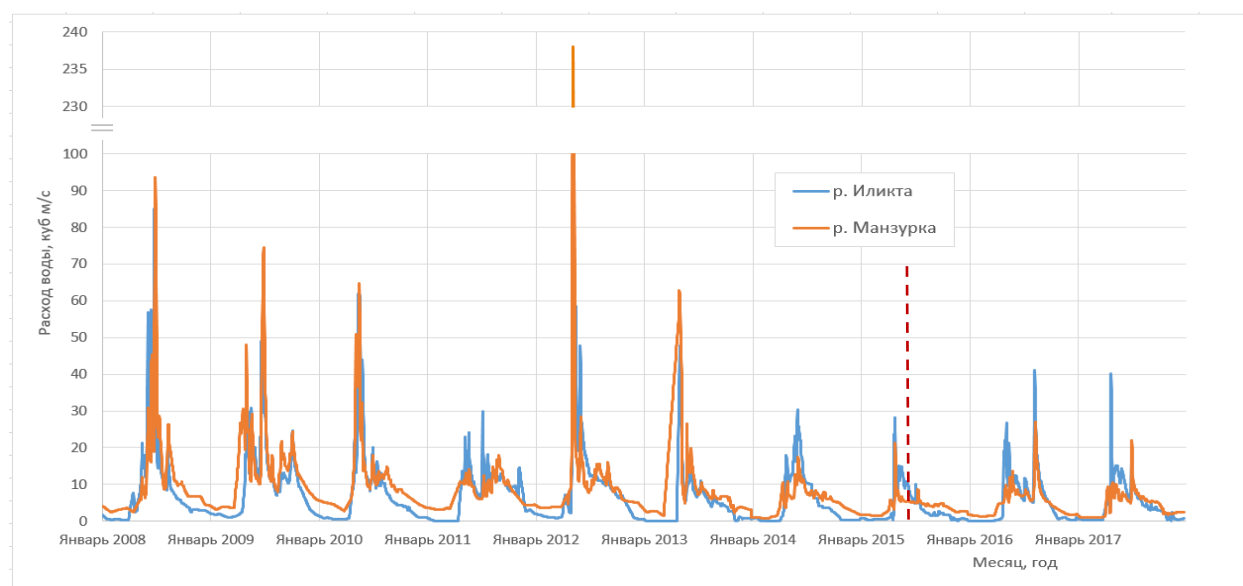


Рисунок 5.3.2 Ход среднесуточных расходов на р. Иликта и р. Манзурка (2008-2017)

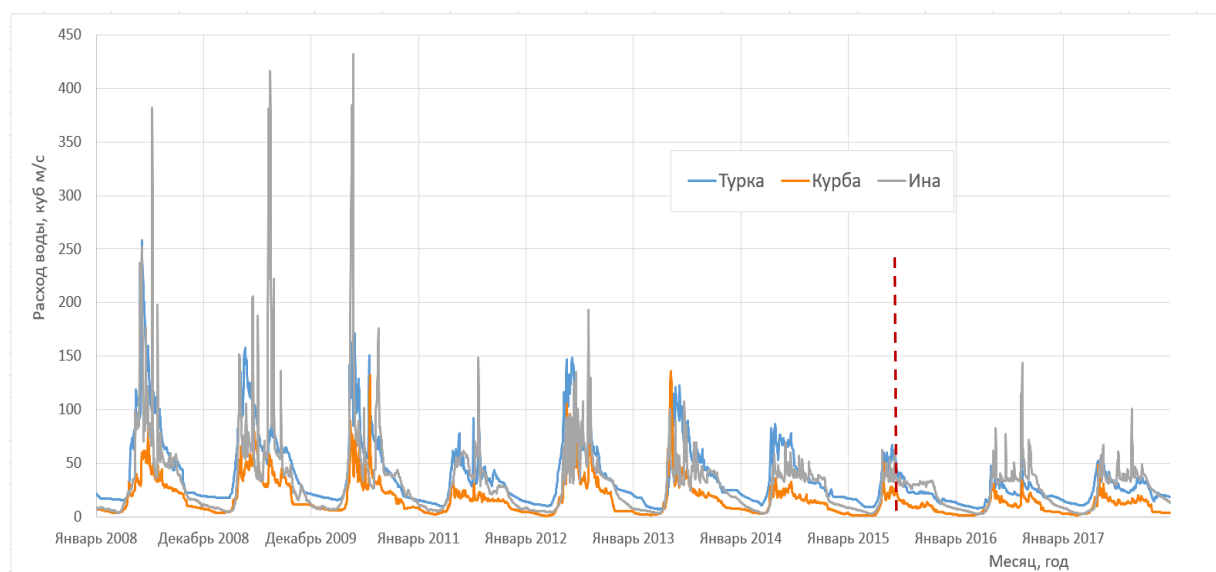


Рисунок 5.3.3 Ход среднесуточных расходов на р. Турка, р. Курба и р. Ина (2008-2017)

5.2 Анализ коэффициентов стока исследуемых рек и рек-аналогов

В ходе работы были проанализированы коэффициенты стока для рек западного побережья оз. Байкал. Коэффициент стока характеризует долю осадков, формирующих поверхностный сток реки. Предполагается, что коэффициент стока должен возрасти после лесного пожара, ввиду ухудшений условий фильтрации и инфильтрации в грунтовые воды, уменьшения перехвата осадков лесным покровом и возрастания поверхностного стока.

Однако, анализ коэффициентов стока р. Анга и р. Бугульдейка (рис. 5.4.1) не позволяет проследить влияние лесных пожаров на изменение режима формирования стока. Графики сохраняют свою синхронность как после 2003, так и после 2015 гг. Отличительным является резкое увеличение коэффициента стока в 2012 году для р. Анги. Оно не может быть связано с обезлесением, ввиду даты, и скорее всего вызвано метеорологическими особенностями того года – когда выпало чрезвычайно большое количество твердых осадков. Половодье 2012 г. произошло в довольно сжатые сроки, поэтому вероятно, что большая часть твердых осадков попала в реку, не расходуясь на фильтрацию и инфильтрацию.

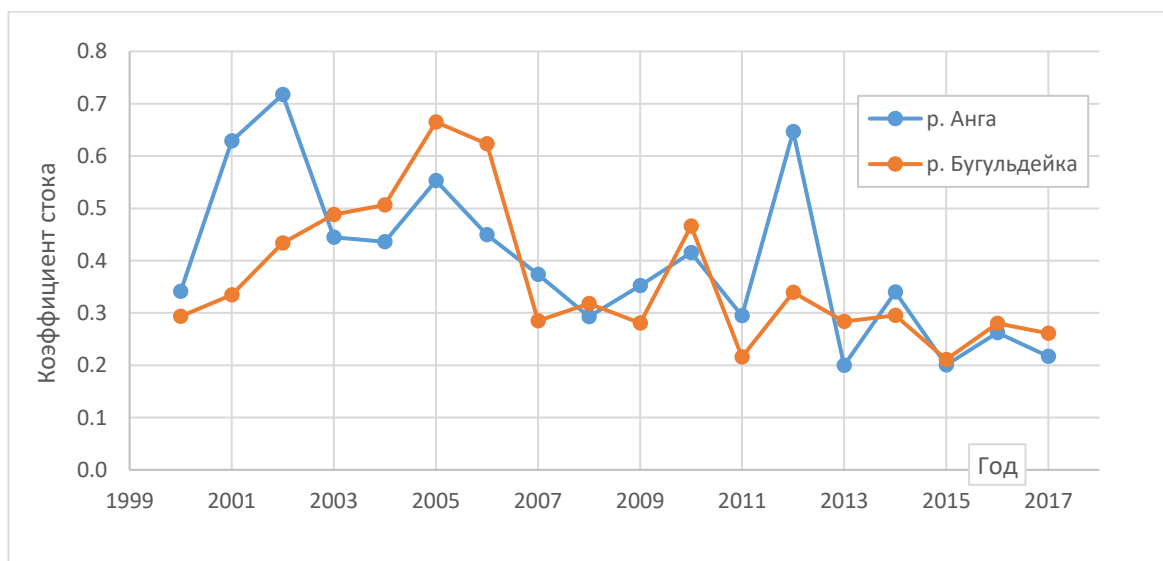


Рисунок 5.4.1 Ход среднегодового коэффициента стока на р. Анга и р. Бугульдейка (2000-2017)

Несколько отличается график коэффициента стока р. Иликта и р. Манзурка (рис. 5.4.2). Из анализа рисунка следует, что значения коэффициента стока р. Иликта в принципе несколько выше значений р. Манзурка. Возможно это связано с тем, что более равнинный бассейн р. Манзурка имеет также более развитую связь с грунтовыми водами, чем бассейн р. Иликты, ввиду чего значительная часть осадков расходуется на фильтрацию. Тем не менее, ход коэффициентов для обеих рек схож и синхронен.

На р. Иликта наблюдается тот же подъем коэффициента стока в 2012 году, что и на Анге – оно не связано с обезлесением. Интересен, однако, пик в 2016 году – через год после крупного пожара в бассейне Иликты. Подобный пик не отмечен на р. Манзурка, что позволяет предполагать, что это повышение может быть связано именно с пожаром 2015 года.

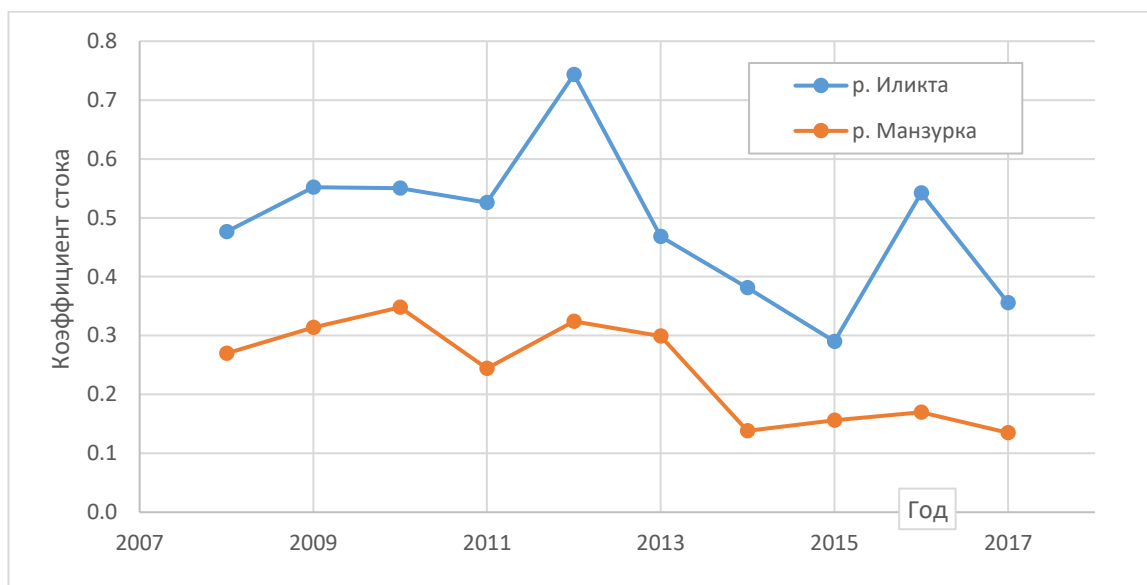


Рисунок 5.4.2 Ход среднегодового коэффициента стока на р. Иликта и р. Манзурка (2008-2017)

Произошедшее обезлесение должно было оказать существенное влияние на паводочный/паводочный режим, ввиду чего для более точного анализа был произведен расчет коэффициента стока крупного августовского паводка на р. Иликта и р. Манзурка.

На основе анализа среднесуточного гидрографа стока были выделены паводочные периоды для обеих рек – на р. Иликта 30 дней, а на р. Манзурка – 25 дней, сформированные периодом обильных дождей, выпавших за 16 суток. Коэффициенты стока за выделенный паводочный период для каждой реки оказались примерно равны годовым значениям коэффициента. Для р. Иликта значение составило 0,552 (среднегодовой коэффициент стока - 0,542), а для р. Манзурка – 0,153 (0,170).

Столь серьезная разница в коэффициентах стока действительно может быть объяснена пожаром 2015 года. Однако этот вывод ставит под сомнение подобное превышение 2012 года, которое также произошло на Иликте и с пожаром никак не связано.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа со спутниковыми снимками и данными лесного мониторинга подтвердила актуальность выбранной темы – крупные лесные пожары действительно уничтожают огромные территории лесного покрова Прибайкалья, как например на реке Иликте, где за одно лето 2015 года сгорело более половины площади лесных массивов водосбора. Распространение пожаров и их периодическая повторяемость требуют постоянного мониторинга не только за состоянием лесного покрова после обезлесения, но и за состоянием гидрологического режима местных рек.

Поставленные в ВКР задачи были выполнены – был проведен анализ литературы, посвященной гидрологической роли леса, как отечественной, так и зарубежной, во многом противоречащей и не согласующейся друг с другом. В настоящее время, многие ученые приходят к выводу что нельзя вывести универсальную, единую и однозначную теорию гидрологической роли лесного покрова – влияние леса на сток зависит от множества различных факторов, напрямую с лесом не связанных – почвами, климатом, и другими критериями, которые чрезвычайно варьируются по распространению на Земле [19, 26, 31]. Из этого следует, что исследование гидрологической роли леса (а стало быть и влияния обезлесения на сток) должно учитывать региональные особенности территории и проводиться в районах с однородными физико-географическими условиями. Несмотря на разнообразное количество подобных отечественных исследований (проводимых и Красноярским Институтом леса для юга Средней Сибири [3, 4, 18] и Валдайским филиалом ГГИ для Северо-Запада РФ [26]), их все равно недостаточно, большая территория нашей страны все еще остается неизученной в вопросе гидрологической роли леса.

Полученные в процессе анализа результаты оказались неоднозначными. Наиболее наглядным примером возможного влияния обезлесения на гидрологический режим реки послужили резкие, интенсивные и достаточно большие по объему половодья на р. Иликта в 2016 и, в особенности, 2017 году – в то время как на реке-аналоге весенние подъемы воды были выражены достаточно слабо и растянуто. Эти особенности можно объяснить тем, что пожар 2015 года, уничтоживший около 55 % лесного покрова на водосборе привел к резкому ухудшению фильтрационных особенностей почвы, которая в условиях до пожара характеризовалась промывным режимом и высокой фильтрацией. Ухудшение фильтрационной способности почв и активное таяние снега весной, в отсутствие притеняющего лесного покрова, привело к интенсивному и резкому половодью на водосборе исследуемой реки. К сожалению, сложный гидрологический режим рек Прибайкалья не дает возможности дать количественную оценку этому возрастанию стока.

Гидрологические фазы паводков и половодий, которые характеризуются чрезвычайной непостоянностью в водности не позволяют количественно отделить влияние пожара на сток от влияния метеорологических характеристик местности, оставляя возможность судить лишь о качественных изменениях.

Согласно изложенным в предыдущих главах концепциям внутригодового изменения стока, интенсификация весеннего половодья ведет к истощению почвенных запасов влаги и уменьшению количества воды в грунтовых водах, что неминуемо ведет к падению расходов воды в период летней межени. Однако на реке Иликте не было отмечено изменений в меженном режиме, ни на суточных, ни на среднемесячных гидрографах.

В продолжение разговора о гидрографах разных сроков, интересно, что явно отмеченные на среднесуточных гидрографах изменения в половодном режиме реки Иликты не отражаются на среднемесячных и среднегодовых гидрографах. Из этого стоит сделать вывод, что анализ гидрологической информации при подобных исследованиях должен содержать как можно более полные сведения, собранные с различной периодичностью. От этого напрямую зависит фиксирование произошедших изменений.

Что касается р. Анга, где выгорело около 18 % лесного покрова, то были отмечены изменения лишь в среднемесячном стоке – увеличение доли половодья. Не представляется возможным оценить эти изменения количественно, ввиду указанных выше причин. Вместе с тем, нет уверенности что эти изменения вызваны сугубо пожарами и являются достаточно значимыми, ввиду того, что анализ среднесуточных гидрографов не продемонстрировал существенного различия в динамике расходов исследуемой реки Анги и реки-аналога Бугульдейки в период после пожара 2015 г.

Не получается проследить четкого влияния разной площади пожара на речной сток – реки восточного побережья оз. Байкал, несмотря на отличающиеся масштабы гарей, не демонстрируют четких различий в ходе расходов между собой. Касаемо данных бассейнов восточного побережья, стоит отметить, что все они больше 3000 км² по площади, вместе с тем, гидрологический эффект обезлесения тем больше, чем меньше площадь водосбора, а, следовательно, сильнее роль локальных стокоформирующих факторов. Возможно крупные водосборы рек Турка и Курба (более 5000 км²) просто «не ощутили» пожаров, уничтоживших 23 и 15 процентов лесного покрова соответственно. Этот факт, однако, не объясняет отсутствие явного гидрологического эффекта пожара на водосборе р. Анга – площадью меньше 1000 км².

Стоит отметить, что несмотря на то, что в работе использовался достаточно короткий период наблюдений после пожара (только два года - 2016 и 2017), это не приуменьшает значимость анализа. Во всех работах, посвященных гидрологической роли леса отмечается, что наибольшие изменения в речном стоке происходят сразу же после обезлесения – уже на следующий год, с постепенным уменьшением эффекта со временем.

Из всего этого стоит сделать вывод, что лесные пожары не оказали значительного влияния на речной сток Прибайкалья. Возможно, ввиду того, что лесной покров не является решающим стокоформирующим фактором для данного района. Большинство работ, приведенных в обзоре литературы, рассматривали в качестве объекта исследования реки, питание которых было преимущественно снеговым. В данной же работе, у рек смешанное питание, и режим сильно обусловлен ливневыми жидкими осадками. Вероятно, лесной покров, как стокоформирующий фактор, оказывает меньшее влияние на перераспределение ливневых жидких осадков, чем на перераспределение твердых осадков.

Также вероятно, что большую роль в уменьшении гидрологического влияния лесного покрова сыграл уклон водосборов – все исследуемые водосборы характеризовались горным рельефом. Возможно, что ухудшение фильтрационных свойств почвы прошло для стока «незамеченным», ввиду того, что из-за крутых склонов водосборного бассейна фильтрация в грунтовые воды всегда невысока, несмотря на естественный промывной режим почв.

Отсутствие наблюдаемых эффектов пожара на речной режим, конечно же, не означает что они совсем отсутствуют. Тема гидрологического влияния леса еще недостаточно изучена и сведений об отложенном по времени воздействия пожаров на речной сток немного.

Исследование гидрологических последствий обезлесения остается перспективной и необходимой задачей, которая требует дальнейшего подбора районов исследования и расширения списка анализируемых рек. Даже оценивая стокоформирующее влияние обезлесения в Прибайкалье, нельзя считать данную работу завершающей – дальнейшее исследование данного региона должно включать в себя анализ новых рек, с меньшими площадями водосборов, анализ типовых характеристик лесного покрова, и, возможно, использование метода моделирования стока, с целью сравнения эффективности используемого в данной работе метода подбора рек-аналогов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] - АИС ГМВО. URL: <https://gmvo.skniivh.ru> (дата обращения: 23.10.2019).
- [2] - Буренина Т. А., Федотова Е. В., Овчинникова Н. Ф. Изменение водного баланса лесных территорий в связи с антропогенной трансформацией растительного покрова. // Эколого-географические аспекты лесообразовательного процесса: Материалы Всероссийской конференции с участием иностранных ученых. Красноярск, 23-25 сентября 2009 г. – Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2009. – 417 с.
- [3] - Буренина Т. А., Прысов Д. А., Федотова Е. В. Влияние климатических и антропогенных факторов на гидрологический режим рек юга Красноярского края. // Сибирский лесной журнал. 2018. № 2. С. 48–60
- [4] - Буренина Т. А., Онучин А. А. Гидрологические последствия лесозаготовок в различных ландшафтных зонах Сибири // Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского гидролога Юрия Борисовича Виноградова. Под редакцией О.М. Макарьевой. 2018. – Санкт-Петербург: Научные технологии
- [5] - Веселов В. М., Прибыльская И.Р. Массив данных ВНИИГМИ-МЦД. URL: <http://aisori-m.meteo.ru> (дата обращения: 07.11.2019).
- [6] - Воронков Н. А. Роль лесов в охране вод. – Ленинград: Гидрометеиздат. 1988. 285 с.
- [7] – Гапаров К. К. Влияние хозяйственной деятельности на изменение гидрологических и защитных функций еловых лесов Прииссыккуля. автореферат дис. кандидата биологических наук. Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. - Красноярск, 2006. - 17 с.
- [8] – Гармаев Е. Ж., Христофоров А. В. Особенности водного режима рек бассейна озера Байкал в теплый период года // Вестник Бурятского Университета. Серия 3: География, геология. 1997. С. 59-68.
- [9] - Гидрологический ежегодник / Росгидромет 1990-2017 гг., т. 1 вып. 14 [Бассейн Байкала]. – Иркутск: Гидрометиздат, 1992-2019.
- [10] - Гидрологический ежегодник / Глав. Упр. Гидромет. Службы СССР 1975-1988 гг., т. 8 вып. 0 [Бассейн моря Лаптевых]. – Якутск: Гидрометиздат, 1977-1990.
- [11] - Клицков А. П. Защитная роль лесов Сахалина. / Гос. ком. лесного хоз-ва Совета Министров СССР. Дальневост. науч.-исслед. ин-т лесного хоз-ва. Сахалин. лесная опыт. станция. - Южно-Сахалинск: Дальневост. кн. изд-во. Сахалин. отд-ние, 1973. - 233 с.
- [12] - Кордюков А. В. Водоохранная роль лесов бассейнов малых горных рек Сахалина // Вестник ДВО РАН № 3. 2014. С. 61-69

- [13] - *Крестовский О. И.* Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. – Ленинград: Гидрометеиздат. 1986. 118 с.
- [14] – *Максимова Е. Ю. и др.* Характеристика физических свойств послепожарных почв // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 16, № 5. 2014. С. 51-57.
- [15] - *Мельхеев М. Н.* Географические названия Восточной Сибири. Иркутская и Читинская области. — Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1969. — 120 с.
- [16] - *Муратов М. Э.* Изменение гидрологического режима рек под влиянием сплошных рубок на Южном Урале. – Пушкино. 1973, с. 118— 132.
- [17] – *Онучин А. А.* Гидрологическая роль лесных экосистем бореальной зоны // Эколого-географические аспекты лесообразовательного процесса: Материалы Всероссийской конференции с участием иностранных ученых. Красноярск, 23-25 сентября 2009 г. – Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2009. – 417 с.
- [18] – *Онучин А. А., Буренина Т. А., Зирюкина Н. В., Фарбер С. К.* Лесогидрологические последствия рубок в условиях Средней Сибири. // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. с. 110–118
- [19] - *Онучин А. А.* Причины концептуальных противоречий в оценке гидрологической роли бореальных лесов. // Сибирский лесной журнал. 2015. № 2. С. 41–54
- [20] – *Побединский А. В., Бобруйко Б. И.* Влияние сплошных рубок на сток рек. — Лесное хозяйство, 1972, № 2, с. 26—31.
- [21] - *Позднякова Н. А., Рябцев И. С., Собко Ю. В.* Методы обработки космических снимков для изучения и мониторинга растительного покрова. Санкт-Петербургский Государственный Университет, ЗАО «ЭКОПРОЕКТ», 2014.
- [22] – *Потемкина Т. Г., Потемкин В. Л., Гусева Е. А.* Озерно-речная система оз. Байкал – р. Селенга в условиях изменяющейся окружающей среды // Известия Сибирского отделения РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений, №2. 2016. с. 103-115
- [23] - *Семенова О. М., Лебедева Л. С., Волкова Н. В., Шалина Е. В.* Использование спутниковых данных для исследования процессов формирования стока в бассейне р. Витимкан (зона распространения многолетней мерзлоты) // Исследование Земли из космоса, № 3. 2015. с. 15–26.

- [24]- Синюкович В. Н., Сизова Л. Н., Шимараев М. Н., Курбатова Н. Н. Особенности современных изменений притока воды в озеро Байкал // География и природные ресурсы. 2013. № 4. С. 57–63.
- [25] – Укис А. А. Влияние вырубki леса на сток р. Луза. Курсовая работа. Санкт-Петербург. СПбГУ, 2019. – 34 с.
- [26] – Федоров С. Ф., Марунич С. В. Гидрологическая роль леса. - СПб: Любавич, 2018. – 176 с.
- [27] - Ю.Г. Чендев и др Экологические нарушения гидрологического режима поверхностных вод на примере р. Липовка в г. Липецк // Научные Ведомости БелГУ, Серия Естественные науки. 2016. № 11 (232). Выпуск 35.
- [28] - Экологический атлас бассейна озера Байкал. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2015. – 145 с.
- [29] – Электронная версия Национального атласа почв Российской Федерации. URL: <https://soilatlas.ru> (дата обращения: 18.04.2020)
- [30] - Beck, H. E. et al. Global patterns in base flow index and recession based on streamflow observations from 3394 catchments. Wat. Resour. Res. 49, 7843–7863 (2013).
- [31] –Evaristo J., Mcdonnell J. J. Global analysis of streamflow response to forest management. Nature, 2019.
- [32] – Evaristo J., Mcdonnell J. J. Paired watershed study data and related statistical model predictions to investigate the impact of forest removal and planting on water yield. Nature, 2019.
- [33] - Gleeson, T., Moosdorf, N., Hartmann, J. & van Beek, L. P. H. A glimpse beneath earth’s surface: Global Hydrogeology Maps (GLHYMPS) of permeability and porosity. Geophys. Res. Lett. 41, 3891–3898 (2014).
- [34] - Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. “High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change.” 2013. Science 342 (15 November): 850–53. URL: <https://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest> (дата обращения: 05.10.2019)
- [35] Onuchin A. A., Burenina T. A., Balzter H., Tsykalov A. G. New look at understanding hydrological role of forest (Онучин А. А., Буренина Т. А., Балцер Х., Цыкалов А. Г. Новый

взгляд на понимание гидрологической роли леса) // Сибирский лесной журнал. 2018. № 5. С. 3–18 (на английском языке, реферат на русском).

[36] - *Sharkhuu N., Etzelmuller B., Heggem E.S.F., Nelson F.E., Shiklomanov N.I., Goulden C.E., Brown J.* Permafrost monitoring in the Hovsgol mountain region // J. Geophys. Res. 2007. V. 112.

[37] – *Swank W. T., Helvey J. D.* Reduction of streamflow increases following regrowth of clearcut hardwood forests. IASH, 1970.